



AgEcon SEARCH
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*



PROCEEDINGS
OF THE
26th ANNUAL MEETING

July 29 to August 4, 1990
Mayaguez, Puerto Rico

Published by:
Caribbean Food Crops Society
with the cooperation of the USDA-ARS-TARS
Mayaguez, Puerto Rico

RELACION ENTRE LA CONCENTRACION DE AL Y MN, CRECIMIENTO,
PRODUCCION DE MATERIA SECA, Y CONTENIDO FOLIAR DE NUTRIMENTOS
EN PLANTULAS DE CACAO (Theobroma cacao L.)

R. Lemus y K.D. Ritchey

Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola
Guatemala, Guatemala y
USDA-ARS, Tropical Agriculture Research Station
Mayaguez, Puerto Rico 00709

ABSTRACT

Two greenhouse experiments were carried out to evaluate the effect of lime on soil pH, Mn level and Al saturation and growth, dry matter production and foliar nutrient content in 6-month old cacao (Theobroma cacao L.) plants. A factorial randomized complete block design (4 genotypes x 5 treatments) was replicated 5 times.

Two Ultisols from the humid zone of Puerto Rico were used. A Dystrypeptic Tropudult (Maricao) with a pH of 4.8, high in Al, received four levels of lime (0, 4, 8 and 12 meq/100g of Ca as $\text{Ca}(\text{OH})_2$), and one treatment of 4 meq/100g Al as $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. A Plinthic Palehumult (Torres) with a pH of 4.9 high in Mn, received four lime levels (0, 3, 6, and 9 meq/100 Ca) plus a treatment of 170 mg/kg Mn as MnSO_4 . Liming reduced extractable Al, Mn, P and Mg in both soils. Growth of 6-month old seedlings increased as Al and Mn decreased. Foliar P, Ca and Mg increased with liming and Al, Mn and Zn decreased. The leaves of the Al-toxic plants were small and chlorotic. In treatments where toxicity of Mn was observed, leaves had 4000 to 6000 mg/kg Mn. Young leaf interveinal areas were chlorotic and older leaves, stems and apical meristems had necrotic spots.

INTRODUCCION

La incidencia de suelos ácidos en los trópicos consituye un serio problema para la producción de alimentos ya que presentan un alto grado de intemperización que ha provocado el lavado de cationes como Ca, Mg, K y la acumulación de Al y/o Mn (Foy, 1984). Además, la extracción de nutrimentos por los cultivos y el uso de fertilizantes de carácter residual ácido, causan una solubilización excesiva de Al y Mn los cuales podrían ser tóxicos para los cultivos (Cabala-Rosand et al., 1985; Santana et al., 1985).

* Research accomplished by the first author in partial fulfillment of the requirements for the MS degree.

Los síntomas de daño por Al en plantas no son fáciles de identificar; en algunas plantas aparecen como deficiencia de P o como deficiencia o reducido transporte de Ca. Las raíces afectadas por Al son gruesas y quebradizas; el sistema radical es coraloide con muchas raíces laterales gruesas y muy pocas finas. El Al afecta la división celular en las puntas de raíces primarias y laterales e interfiere con la absorción, transporte y uso del agua y varios nutrimentos como P, K, Ca y Mg (Foy, 1984). Miranda y Da Costa Pinto Dias (1971) mencionan que las plántulas de cacao catongo no crecieron cuando la saturación de Al era mayor de 47%.

La toxicidad de Mn es probablemente el segundo factor más importante que limita el crecimiento (después del Al) en suelos ácidos. La solubilidad del Mn depende de muchas propiedades de suelo, incluyendo el contenido total de este elemento, el pH, el nivel de materia orgánica, aereación y actividad microbiológica. Su toxicidad se manifiesta en suelos con pH alrededor de 5.5 o menos, si el suelo contiene suficiente Mn total. Sin embargo, puede ocurrir a valores de pH más altos en suelos pobremente drenados o compactados donde condiciones de reducción favorecen la reducción de Mn^{+4} a Mn^{+2} , la forma en que la planta lo absorbe (Foy, 1984; Malavolta et al., 1984). El exceso de Mn afecta más la parte aérea que las raíces. Este elemento se acumula en el follaje y provoca en altas concentraciones clorosis marginal de hojas jóvenes, arrugamiento y puntas necróticas en las hojas y necrosis de tallos (Santana et al., 1985; Sundstrom et al., 1983).

El encalamiento se realiza, tradicionalmente, con el fin de elevar el pH y así bajar la saturación de Al, fijación de P, y toxicidad de Al y Mn (Kamprath, 1984; Santana et al., 1985). Abruña et al. (1965) relató que el café (*Coffea arabica* L.) manejado intensivamente respondió al encalado en suelos ácidos con altos niveles de Mn, pero no respondió cuando el Al intercambiable era el factor principal de la acidez. La acidez del suelo y la deficiencia de P son los principales factores que limitan al crecimiento y producción del cacao en Bahía, Brasil (Cabala-Rosand et al., 1985; Santana et al., 1985).

Los objetivos de este trabajo fueron evaluar el efecto de la cal sobre el pH, saturación de Al y contenido de Mn en el suelo y como estos influyen en el crecimiento, producción de materia seca y contenido foliar en plántulas de cacao.

MATERIALES Y METODOS

Para cada experimento se usó un arreglo factorial 5 x 4, donde el factor A eran los 5 tratamientos de acidez y el factor B los 4 materiales genéticos de cacao, utilizando el diseño experimental de bloques completos aleatorizados con 5 repeticiones.

Dos suelos Ultisol (Distropeptic Tropudult, arcilloso, mixto, isotérmico y Plintic Palehumults, arcilloso, oxidico) de las series Maricao (alto en Al) y Torres (alto en Mn), respectivamente, de la zona húmeda de Puerto Rico fueron usados en los experimentos.

El suelo Maricao inicialmente presentaba un pH de 4.8 y 74% de saturación de Al ($10 \text{ meq } 100\text{g}^{-1} \text{ Al}$), mientras que el suelo Torres estaba con un pH de 4.9 y $283 \text{ mg } \text{kg}^{-1}$ de Mn extraíble con NH_4OAc . El suelo Maricao recibió cuatro tratamientos de cal (0, 4, 8 y $12 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ de Ca como $\text{Ca}(\text{OH})_2$) y un tratamiento de $4 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ de Al como $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. El suelo Torres recibió cuatro tratamientos de cal (0, 3, 6 y $9 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ de Ca) y un tratamiento donde se le añadió $170 \text{ mg } \text{kg}^{-1}$ de Mn como MnSO_4 . El suelo, la cal y el fertilizante fue homogeneizado y colocado en tiestos de 7 litros, luego regados a capacidad de campo para incubación por 3 semanas. Se fertilizó con $250 \text{ mg } \text{kg}^{-1}$ de N (en forma de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), $200 \text{ mg } \text{kg}^{-1}$ de P (superfosfato triple), $200 \text{ mg } \text{kg}^{-1}$ de K (KCl), $15 \text{ mg } \text{kg}^{-1}$ de Zn ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y $2.4 \text{ mg } \text{kg}^{-1}$ de B (H_3BO_3).

Los cinco tratamientos fueron evaluados en combinación con 4 materiales de cacao. La semilla de cuatro clones de cacao (UF-613, UF-668, ICS-40, ICS-75) de polinización abierta fueron obtenidas de la colección de Tropical Agriculture Research Station (TARS), Mayaguez, Puerto Rico. Estas semillas se colocaron en germinadores con Pro-Mix* y a los 25 días se transplantaron a los tiestos.

Dos plántulas fueron colocadas en un lado del tiesto y una en el otro lado dentro de una bolsa plástica. Esta última fue cosechada a los 3 meses y el suelo retornado al tiesto sin la bolsa plástica. Las dos plantas restantes fueron cosechadas a los 6 meses. Las plántulas crecieron bajo un invernadero techado con Saran negro (52% de sombra), expuestas a la lluvia. Los parámetros evaluados fueron altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas y área foliar, largo de la raíz pivotal, materia seca de hojas, tallos y raíces y contenido foliar de P, K, Ca, Mg, Mn, Al y Zn.

El diámetro de tallo se midió con un calibrador "Manostat", un centímetro debajo de los cotiledones. El área foliar se midió con un medidor "Li-cor". Las plántulas después de cosechadas y divididas en 3 partes (tallo, hoja y raíz) se secaron en un horno

* En esta publicación se mencionan los nombres de productos comerciales con el único propósito de proveer información específica al lector. El hecho de que se mencione un producto comercial por su nombre no constituye una garantía, autorización o endoso por parte del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en preferencia a otros productos similares no mencionados.

a 70°C. A las 36 horas se pesó la materia seca y las hojas fueron molidas.

El pH del suelo fue leído usando una relación 1:2 de suelo y agua. El P en el suelo fue extraído por el método Bray II y leído colorimétricamente en un espectrofotómetro "Perkin-Elmer" modelo "Lamda 3". El K, Ca, Mg y Mn en el suelo fueron extraídos con una solución de 1M NH_4OAc neutral y el Al con 1M de KCl. Para el análisis foliar, un gramo de cada muestra fue incinerado a 600°C por 4 horas en una mufla; la ceniza fue puesta a digerir con 20 ml de HCl al 33%. A excepción del P, los elementos fueron leídos en un espectrofotómetro de absorción atómica.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los tratamientos de cal aplicados a los suelos causaron diferencias altamente significativas en todos los elementos determinados, a excepción del P en suelo Torres (cuadro 1). La cal fue efectiva en elevar el pH, reducir la saturación de Al y el contenido de Mn. Efectos similares han sido reportados por varios autores (Abruña et al., 1965; Cabala-Rosand et al., 1985; Kamprath, 1984; Santana et al., 1985). El P y Mg disminuyeron a medida que se incrementaron los niveles de cal; un comportamiento similar fue observado por Morais et al. (1978) para P y Grove y Sumner (1985) para Mg. Este último efecto es debido a que el Mg es más fuertemente absorbido en el suelo cuando el pH aumenta.

En el cuadro 2 se muestra la relación entre la saturación de Al y el crecimiento y producción de materia seca de las plántulas de cacao creciendo en el suelo Maricao. Hubo diferencias altamente significativas entre tratamientos en todas las variables evaluadas. Cuando se compara el tratamiento que recibió 12 meq 100g^{-1} de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (19% de saturación de Al), contra el que recibió más Al (76% de saturación de Al), en diámetro de tallo hubo un aumento de 36%, número de hojas 48%, altura de planta 45%, área foliar 128%, materia seca de tallo 126%, hoja 142%, raíz 80% y materia seca total 125%. Este aumento en desarrollo confirma investigaciones realizadas en Brasil por Santana et al. (1985) en plántulas de cacao.

Los efectos anteriormente mencionados también fueron observados en el suelo Torres, donde la mayor limitante era el Mn disponible en el suelo (Cuadro 3). El mayor crecimiento y producción de materia seca de las plántulas se logró cuando el suelo recibió 6 meq 100g^{-1} de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y el suelo tenía 11 mg kg^{-1} de Mn disponible. Como puede observarse en dicho cuadro, lo más afectado fue el área foliar y la materia seca de hojas. Estos efectos también han sido observados en soya (Brown et al., 1970), frijol (Horst et al., 1978), café (Pavan et al., 1981) y otros cultivos, lo que da apoyo a la hipótesis que el efecto principal del Mn es sobre las hojas de las plantas.

En las Figuras 1 y 2 se presenta la relación entre la altura de las plantas y la saturación de Al y el contenido de Mn en el suelo, respectivamente, dependiendo de la edad de las plántulas en ambos suelos. En el suelo Maricao, a medida que se incrementó el nivel de cal, aumentó el crecimiento de las plántulas de cacao, debido a la neutralización del Al intercambiable. En el suelo Torres, los tratamientos que presentaban niveles menores de 25 mg kg⁻¹ de Mn en el suelo se comportaron en forma similar, no así el tratamiento con 0 de cal (94 mg kg⁻¹ Mn). En ambos suelos la adición tanto de Al como de Mn al suelo resultó en efecto detrimental para la altura de las plántulas, siendo los efectos más acentuados a medida que las plántulas tenían más edad.

En cuanto al contenido foliar de nutrimentos (Cuadros 4 y 5), hubo entre tratamientos diferencias altamente significativas en P, K, Ca, Mg, Mn, Al y Zn y significantes para Fe y Zn en suelo Torres. Altos contenidos de Al y Mn en el suelo disminuyeron la absorción de P. Snoeck (1984) y Malavolta et al. (1984), reportaron que valores menores de 0.13% de P en las hojas de cacao son considerados deficientes. Este efecto fue observado a pesar que el suelo presentaba en estos tratamientos los niveles extraíbles más altos de este elemento; posiblemente el P no fue absorbido por las plántulas debido al poco desarrollo de las raíces.

El contenido foliar de K aumentó a medida que aumentó la saturación de Al y el nivel de Mn en ambos suelos, probablemente debido a una acumulación de potasio en las plantas cuyo crecimiento era limitado por la acidez del suelo.

La concentración foliar de Ca y Mg incrementó a medida que se redujo la saturación de Al y Mn en los suelos, debido a que hubo una mayor disponibilidad de Ca (Cuadro 1) y a mayor desarrollo radical (Cuadros 2 y 3). Snoeck (1984) considera que la concentración foliar de 0.30% de Ca y Mg es deficiente en cacao. En los tratamientos que no recibieron cal en el suelo Torres (Cuadro 5) el nivel foliar de Mg era deficiente y las hojas también presentaban altos contenidos de Mn; esto corrobora observaciones de Heenan y Campbell (1981) en soya y R. Goenaga en café (comunicación personal).

El contenido foliar de Mn encontrado en las plántulas creciendo en los dos suelos está por encima de lo reportado por Malavolta et al. (1984) y Snoeck (1984), quienes consideran como adecuado en cacao 134 y 200-500 mg kg⁻¹, respectivamente; sin embargo, en los tratamientos que recibieron cal, síntomas característicos de toxicidad de Mn no fueron observados.

A medida que el contenido foliar de Mn aumentó, la de Fe disminuyó, lo que confirma investigaciones que mencionan que el Mn deprime la absorción de Fe (Horst et al., 1978; Pavan et al., 1981; Poschenrieder et al., 1981). En el suelo Torres los

síntomas de toxicidad de Mn se presentaron cuando el nivel foliar era de $4,109 \text{ mg kg}^{-1}$ de Mn y 209 mg kg^{-1} de Fe, que da una relación Mn/Fe = 20:1, pero los síntomas no fueron observados cuando la relación Mn/Fe era de 8:1; por lo tanto, entre estas dos relaciones es que los síntomas pueden presentarse. Sundstrom et al. (1983), menciona que en sandía, la toxicidad de Mn se presenta cuando la relación Mn/Fe es de 10:1.

La cal provocó una disminución drástica en el contenido foliar de Zn, principalmente en el suelo Maricao (Cuadro 4), similar a lo reportado por Morais et al. (1978).

Ninguna interacción significativa entre genotipos y tratamientos fue encontrada en los dos suelos indicando que los genotipos tuvieron una reacción a la acidez similar. Se encontró algunas diferencias estadísticas significativas entre materiales, posiblemente debidas a diferencia en vigor entre ellos (datos no presentados).

En el Cuadro 6 se presentan los análisis de regresión realizados, tomando como variable independiente las dosis de cal aplicadas al suelo y como dependiente el pH y nutrimentos disponibles e intercambiables, reportándose únicamente las variables en las cuales los modelos de regresión fueron significativos. Hubo un efecto lineal positivo entre dosis de cal y pH y Ca disponible, mientras que fue lineal negativo para Mg, Mn y saturación de Al, siendo el efecto cuadrático para Mn en el suelo Torres.

En las características evaluadas en las plántulas se utilizó como variable independiente la saturación de Al y el contenido de Mn disponible en el suelo Maricao y Torres, respectivamente. Los efectos fueron lineales negativos para diámetro de tallo, altura de plántula, contenido foliar de Ca, P y Mg, y fue lineal positivo para el Mn en el suelo Maricao y cuadrático en el suelo Torres. Fue cuadrático negativo para área foliar en ambos suelos.

En forma general, los síntomas observados en las plántulas donde se verificó toxicidad de Al fueron: reducción en la altura de la plántula, diámetro de tallo y número de hojas, estas últimas siendo pequeñas y cloróticas; el largo de raíz no fue severamente afectado, pero hubo una reducción drástica en el número de raíces secundarias y terciarias. Donde se observó toxicidad de Mn, la misma se manifestó en clorosis marginal de hojas jóvenes y puntos necróticos en las hojas más viejas, así como en la parte superior de los tallos donde había necrosis de meristemas y hasta la muerte de algunas plántulas.

CONCLUSIONES

La disminución del Mn y saturación de Al en el suelo efectuado por la cal propició un aumento en el contenido foliar de P, Mg y Ca, redujo drásticamente la absorción de Mn, y causó

Cuadro 1. Efecto de la cal sobre pH, nutrientes disponibles e intercambiables y saturación de Al a los 6 meses después de sembrarse en los suelos Maricao y Torres, respectivamente.

MARICAO										TORRES				
Ca(OH) ₂ añadida	pH	P	Ca	Mg	Al	Sat. Al	Ca(OH) ₂ añadida	meq 100g ⁻¹	pH	P	Ca	Mg	Mn	
meq 100 g ⁻¹	4.4	118	1.9	2.1	14.0	76	meq 100g ⁻¹	02/	4.4	54	4.2	1.3	161	
0	4.5	97	2.0	2.2	13.5	74	0		4.4	47	3.8	1.2	94	
4	4.6	99	5.1	2.1	10.3	57	3		4.7	41	6.2	1.0	25	
8	4.8	98	9.1	2.0	5.8	34	6		5.3	41	8.3	0.9	11	
12	5.0	92	11.9	1.8	3.4	19	9		5.7	40	9.8	0.9	6	
DMS 5%	0.1	8	0.6	0.2	0.8	3			0.1	9	7.0	0.2	9	
CV %	1**	6**	7**	6**	6**	5**			1**	5*	8**	0.2**	11**	

1/ Se aplicó 4 meq 100 g⁻¹ de suelo de Al como Al₂(SO₄)₃.

2/ Se aplicó 170 mg Kg⁻¹ de Mn como MnSO₄.

*, ** Prueba de F significativa al 5% y 1%, respectivamente.

Cuadro 2. Relación entre la saturación de Al en el suelo Maricao y el crecimiento y producción de materia seca en plántulas de cacao de 6 meses de edad.

Sat. Al %	Diámetro de Tallo	No. de Hojas	Largo de Raíz	Altura de Planta	Area Foliar	Materia Seca			
						Tallo	Hoja	Raíz	Total
mg/kg	mm		cm	cm	cm ²	g			
76 ^{1/}	6.4	19.1	24.9	46.8	1238	6.7	9.1	4.0	19.8
74	7.6	24.6	27.4	59.4	1997	9.6	14.9	4.8	29.3
57	8.2	27.1	34.9	61.9	2368	12.2	17.9	5.3	36.4
34	8.3	29.0	41.2	64.8	2851	12.8	21.0	6.3	40.1
19	8.7	28.2	36.2	67.3	2826	15.2	22.1	7.2	44.5
DMS 5%	0.3	2.5	3.8	3.8	234	1.2	1.2	0.7	2.8
CV %	5**	15**	19**	10**	16**	17**	14**	19**	13**

^{1/} Se aplicó 4 meq/100 g de Al como Al₂(SO₄)₃

** Prueba de F significativa al 1%.

Cuadro 3. Relación entre el contenido de Mn en el suelo Torres y el crecimiento y producción de materia seca en plántulas de cacao de 6 meses de edad.

Mn en Suelo	Diámetro de Tallo	No. de Hojas	Largo de Raíz	Altura de Planta	Area Foliar	Materia Seca			
						Tallo	Hoja	Raíz	Total
mg Kg ⁻¹	mm		cm	cm	cm ²	g			
161 ^{1/}	7.2	20.5	26.8	42.3	1427	8.0	11.2	3.8	23.0
94	8.1	25.6	32.7	51.8	2088	10.4	15.9	5.0	31.3
25	8.5	31.3	41.5	67.9	3066	14.4	22.9	6.0	43.3
11	8.7	32.6	41.6	68.4	3411	15.5	24.6	5.6	45.7
6	8.4	29.9	38.4	68.8	3017	13.6	21.7	5.1	40.4
DMS 5%	0.3	2.6	4.5	4.4	287	1.4	1.8	0.7	3.4
CV%	6**	15**	20**	11**	18**	18**	15**	21**	15**

^{1/} Se aplicó 170 mg/kg Mn como MnSO₄

** Prueba de F significativa al 1%.

Cuadro 4. Relación entre la saturación de Al en el suelo Maricao, y el contenido foliar de nutrimentos en plántulas de cacao de 6 meses de edad.

% sat. Al	P	K	Ca	Mg	Mn	Al	Zn
76 ₁ /	.13	2.44	0.34	.37	2142	314	145
74	.18	2.24	0.42	.44	2578	259	121
57	.18	2.03	0.76	.44	1899	232	71
34	.19	1.91	0.95	.49	1467	211	57
19	.19	1.85	1.15	.48	1145	210	42
DMS 5%	.02	0.12	0.05	.03	175	49	21
CV %	15**	9**	11**	12**	15**	32**	38**

₁/ Se aplicó 4 meq/100 g de Al como Al₂(SO₄)₃.

** Prueba de F significativa al 1%.

Cuadro 5. Relación entre el nivel de Mn en suelo Torres y el contenido foliar de nutrimentos en plántulas de cacao a los 6 meses de edad.

Mn en suelo mg Kg ⁻¹	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn
161	.14	2.17	0.99	.27	6039	186	47
94	.15	2.18	1.00	.31	4109	209	53
25	.19	2.04	1.16	.41	1708	206	59
11	.21	2.04	1.26	.41	1220	221	56
6	.22	2.04	1.33	.42	1030	220	57
DMS 5%	.01	0.09	0.07	.03	439	25	8
CV %	10**	7**	10**	12**	25**	19**	24**

** Prueba de F significativa al 1%.

Cuadro 6. Análisis de regresión entre los tratamientos de cal y pH, Ca, Mg, Mn y saturación de Al de los suelos Maricao y Torres y entre estos últimos y crecimiento, producción de materia seca y contenido foliar de nutrimentos en plántulas de cacao.

Variable	MARICAO		TORRES	
	Ecuación	r ²	Ecuación	r ²
	Variable independiente Ca(OH) ₂ añadida. n = 201/		Variable independiente Ca(OH) ₂ añadida. n = 201/	
pH	Y = 4.45 + 0.05X	.91***	Y = 4.33 + 1.53X	.90***
Saturación Al p en suelo	Y = 74.37 - 4.72X	.98***	Y = 45.54 - 0.72X	.21*
Ca en suelo	Y = 1.58 + 0.84X	.99***	Y = 1.04 + 0.067X	.95***
Mg en suelo	Y = 2.21 - 0.03X	.44**	Y = 1.16 - 0.034X	.68**
Mn en suelo	Y = 70.76 - 4.94X	.95***	Y = 92.00 - 25.3X + 1.78X ²	.96***
	Variable independiente saturación de Al. n = 201/		Variable independiente Mn en suelo. n = 25	
Diámetro tallo	Y = 8.96 - 0.016X	.64***	Y = 8.67 - 0.009X	.75***
Area foliar	Y = 5405 - 24.85X - 0.59X ²	.72***	Y = 3337.9 - 23.8X + 0.01X ²	.90***
Altura planta	Y = 69.78 - 0.19X	.62***	Y = 70.43 - 0.18X	.89***
Materia seca total	Y = 49.23 - 0.25X	.73***	Y = 44.60 - 0.125X - 0.00006X ²	.85***
Ca foliar	Y = 1.35 - 0.012X	.95**	Y = 1.27 - 0.002X	.70***
Zn foliar	Y = 59.1 - 1.20X + 0.03X ²	.82***		
P foliar	Y = 0.502 - 0.001X	.46**	Y = 0.213 - 0.0005X	.81***
Mg foliar	Y = 637.8 + 24.61X	.91***	Y = 0.423 - 0.001X	.88***
Mn foliar			Y = 749.9 + 43.2X - 0.07X ²	.95***

1/ No fue incluido el tratamiento donde lin o Al era añadido.
*, **, *** Significativo al 5%, 1% y 0.1%, respectivamente.

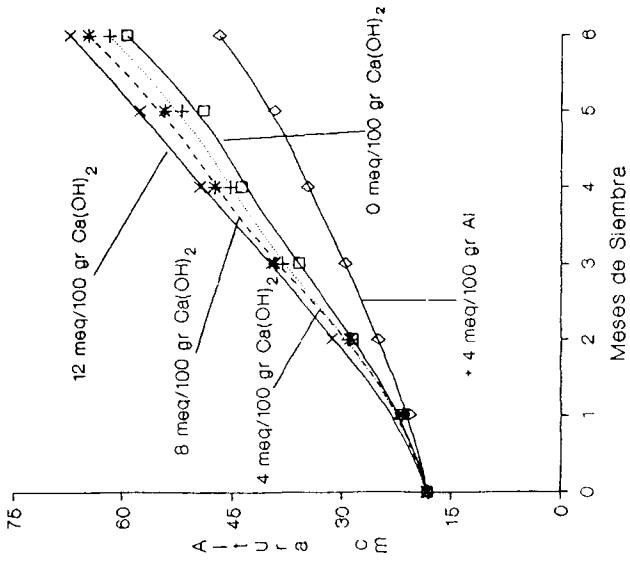


Fig. 1 Efecto de la cal en el suelo Maricao, sobre la altura de plántulas de cacao.

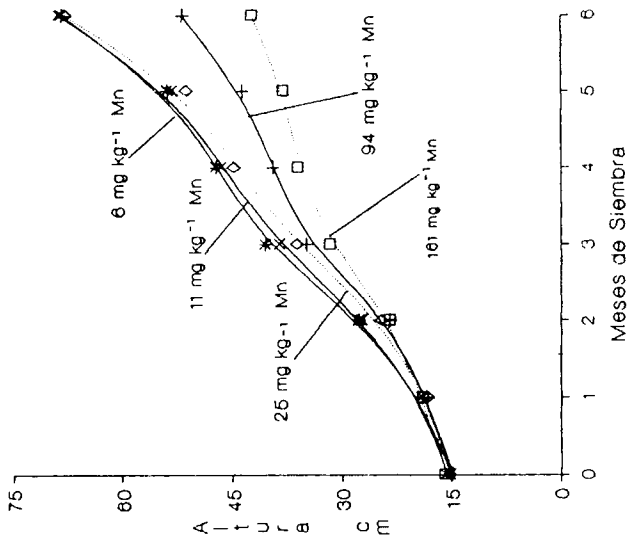


Fig. 2 Relación entre el Mn disponible en el suelo Torres y la altura de plántulas de cacao.

aumentos en crecimiento y producción de materia seca en ambos suelos.

Donde se verificó toxicidad de Al, hubo reducción del número y tamaño de las hojas, las que se presentaban amarillentas y cloróticas. Donde se observó toxicidad de Mn hubo clorosis marginal de hojas jóvenes, mientras que las hojas viejas y tallos presentaban puntos necróticos, y a veces, muerte del meristemo.

RESUMEN

Bajo condiciones de invernadero se llevaron a cabo dos experimentos con el propósito de evaluar el efecto de la cal sobre el pH, contenido de Mn y saturación de Al en el suelo, y crecimiento, producción de materia seca y contenido foliar de nutrimentos en plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) de 6 meses de edad. Se usó un arreglo factorial (4 genotipos x 5 tratamientos) en un diseño de Bloques Completos al Azar con 5 repeticiones.

Dos suelos Ultisol de la zona húmeda de Puerto Rico fueron usados en los experimentos. El primero (Distropeptic Tropudult, arcilloso, mixto, isotérmico), serie Maricao, alto en Al con pH de 4.3 recibió cuatro niveles de cal (0, 4, 8 y 12 meq $100g^{-1}$ de Ca como $Ca(OH)_2$) más un tratamiento de 4 meq $100g^{-1}$ de Al como $Al_2(SO_4)_3$. El segundo (Plinthic Palehumult, arcilloso, oxidico, isohipertérmico) era alto en Mn con pH de 4.9 y recibió cuatro niveles de cal (0, 3, 6 y 9 meq 100^{-1} de Ca) y un tratamiento de 170 mg kg^{-1} de Mn como $MnSO_4$.

El encalamiento aumentó el pH, redujo la saturación de Al y el nivel de P, Mg y Mn extraíble en ambos suelos. El crecimiento y producción de materia seca aumentó a medida que se redujo la saturación de Al y el nivel de Mn. El contenido foliar de P, Ca y Mg aumentó con los niveles de cal, mientras que los contenidos de Al, Mn y Zn disminuyeron.

En los tratamientos que mostraron toxicidad de Al, el número de hojas fue menor, y éstas eran más pequeñas y cloróticas. Donde se detectó toxicidad de Mn, el contenido foliar de Mn varió de 4000 a 6000 mg kg^{-1} . Los espacios entre nervaduras de las hojas jóvenes se mostraban cloróticas y las hojas viejas, tallos y meristemas apicales presentaron puntos necróticos.

REFERENCIAS

- Abruña, F., Vicente-Chandler, J., Becerra, L., and Bosque, R. 1965. Effects of liming and fertilization on yield and foliar composition of high yielding sungrown coffee in Puerto Rico. J. Agr. Univ. of Puerto Rico. 49:413-428.
- Brown, J.C., and Devine, T.E. 1970. Inheritance of tolerance or resistance to manganese toxicity in soybeans. Agronomy J. 22:898-904.

- Cabala-Rosand, F.P., and Mariano, A.H. 1985. Absorcao diferencial de fosforo em cultivares de cacao. *Pesq. Agrop. Brasileira*. 20(2): 159-167.
- Foy, D.C. 1984. Physiological effects of hydrogen, aluminum and manganese toxicities in acid soil. In: F. Adams, (ed.). *Soil Acidity and Liming*. Second edition. ASA. Madison, Wis. pp. 57-86.
- Grove, J., and Sumner, M. 1985. Lime induced magnesium stress in corn. Impact of magnesium and phosphorus availability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:1192-1195.
- Heenan, D.P., and Campbell, L.C. 1981. Influence of potassium and manganese on growth and uptake of magnesium by soybeans (Glycine max (L.) Merr. cv. Bragg). *Plant and Soil* 61:447-456.
- Horst, W.J., and Marschner, H. 1978. Effect of excessive manganese supply on uptake and translocation of calcium in bean plants (Phaseolus vulgaris L.). *Z. Pflanzenphysiol.* 87:137-148.
- Kamprath, J.E. 1984. Crop responses to lime on soil in the tropics. In: F. Adams (ed.). *Soil Acidity and Liming*. Second edition, ASA. Madison, Wis. pp. 349-366.
- Malavolta, E., Malavolta, M.L., and P. Cabral. 1984. Notas sobre requerimientos minerales de cacao. *Anais da Escola Sup. de Agric. "Luis de Queiroz"*, Piracicaba, Brasil. pp. 243-255.
- Miranda, E.R., and Da Costa Pinto Dias, A.C. 1971. Efeito da saturacao de aluminio no crescimento de plantas de cacao. *Theobroma*. 1(3):32-42.
- Morais, F.I., Santana, C.J., and Santana, M.B. 1978. Efeito da aplicacao de calcario e fosforo no crescimento de plantas de cacao en casa de vegetacao. *Theobroma* 8:73-85.
- Pavan, A.M., and Bingham, F.T. 1981. Toxidez de metais em plantas. I. Caracterizacao de toxidez de manganes em cafeeiros. *Pesq. Agrop. Bras.* 16(6):815-821.
- Poschenrieder, Ch., and Barceló, J. 1981. Efectos tóxicos del manganeso sobre el crecimiento y metabolismo de Phaseolus vulgaris. II. Interacciones Fe/Mn. In: *Edaf. y Agr.*, Tomo XL. Barcelona, España. pp. 915-926
- Santana, M.B., Macoto, M., and De Santana, C. 1985. Tolerancia de cultivares híbridas de cacao a aluminio. *Theobroma* 15(1):9-18.

- Snoeck, J. 1984. Cacao. In: Plant Analysis. As a guide to the nutrient requirements of temperate and tropical crops. P. Martin-Prevel, J. Gagnard and P. Gautier (eds.). Lavoisier Publishing. New York, NY. pp. 432-439.
- Sundstrom, F., Edwards, R., Constantin, R., and Wells, D. 1983. Influence of soil acidity on watermelon leaf tissue, mineral concentration and yield. J. Am. Soc. Hort. Sci. 108(5): 734-736.
- White, R.P. 1970. Effect on lime upon soil and plant manganese level in acid soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34(4):625-629.