

RELACIONES FOSFORO-ZINC EN TRES SUELOS ACIDOS DE COSTA RICA.
II. ABSORCION DE LOS ELEMENTOS POR TOMATE EN EL INVERNADERO¹ /

E. GUZMAN*
E. BORNEMISZA*

Summary

In a greenhouse experiment with tomato as indicator plant and using three acid, low Zn soils from Costa Rica the effects were studied of four P levels (zero, sufficient to supply 36 ug/ml of available P, twice and four times this amount) and four Zn levels (zero, sufficient to supply 4.5 ug/ml of available Zn, twice and four times this amount) determined by the Diaz-Romeu and Hunter (4) technique.

It was observed that P was the limiting element in all soils and even its highest applications did not reduce Zn absorption. In two soils yields increased up to twice the recommended optimum level and for one soil even up to four times this level.

The foliar P/Zn ratios varied between 27 and 48 for the optimum production pots and between 16 and 56 for the level of more than 85% of the optimum production. The zero P plants were characterized by very low productions and P/Zn ratios of less than 15 except in one case.

The Zn application increased the absorption of the element proportionally to its application but had no important effect on plant production.

Introducción

La relación entre los elementos P y Zn en plantas ha sido origen de numerosas investigaciones en parte por la cantidad de datos contradictorios publicados para diferentes cultivos y suelos tales como maíz, tomate (14) y trébol (19). En Costa Rica, Marinho e Igue (10) observaron que la aplicación de P en suelos volcánicos influyó sobre el Zn total absorbido por maíz, con una disminución de la concentración foliar de Zn cuando aumentó el P aplicado.

Este trabajo incluye la información relacionada con la absorción de P y Zn por plantas de tomate, como parte de otro estudio más largo sobre los cambios químicos en los suelos, presentados en un informe previo (6).

Materiales y métodos

En tres suelos descritos previamente (6), se cultivó tomate (*Lycopersicon esculentum* M.), variedad "Tropic", en macetas de 1 litro de capacidad con fondos perforados colocadas sobre pequeños platos para evitar pérdidas por lavado. Se usó riego por gravedad para mantener la humedad adecuada y se dejó seis plantas por maceta, que fueron cosechadas a las 6 semanas.

Las plantas fueron secadas a 70°C, pesadas y medidas. Para los análisis se realizó una digestión nitro-perclórica (5:1) y en este extracto se determinó el Zn, según Johnson y Ulrich (8), y el P por colorimetría.

Las aplicaciones de P y Zn se efectuaron con base en la metodología de Díaz-Romeu y Hunter (4) apli-

¹ Recibido para publicación el 18 de junio 1983.

Este trabajo está basado parcialmente en la tesis de M.Sc. presentada por la autora a la Comisión de Posgrado UCR-CATIE; asimismo recibió apoyo parcial del CONICIT.

** Estudiante de postgrado, investigadora del Instituto Salvadoreño de Investigación Agropecuaria y de Pesca, y profesor del curso Química de Suelos en el Programa de Posgrado UCR-CATIE.

cando los múltiples de fósforo de 0, 1, 2 y 4 veces al nivel crítico (36 ppm) y los múltiples de zinc de 0, 0.5, 1 y 2 veces el valor para este elemento según las curvas de retención indicadas previamente (6). Otros nutrimentos se aplicaron de acuerdo a las necesidades determinadas para los tres suelos a fin de asegurar que no fueran limitantes de la fertilidad, usando la técnica de Díaz-Romeu y Hunter (4).

Los niveles de P y Zn aplicados y repetidos cuatro veces resultaron en 192 macetas. El modelo matemático del experimento se expresa por

$$x_{ij} = \mu + T_i + B_j + (TB)_{ij} + E_{ij},$$

donde T = tratamientos (Suelos P, Zn), B = bloques y E = error.

Resultados y discusión

Absorción de fósforo por las plantas

La cantidad promedio de fósforo extraído por las plantas se presenta en el Cuadro 1. En los tres suelos,

la extracción de P para el nivel 0 fue muy baja, ya que su concentración inicial era muy baja. Aún la aplicación de la cantidad correspondiente al nivel óptimo, según la metodología de Díaz-Romeu y Hunter (4), está alejada de las necesidades de la planta para su crecimiento óptimo; así puede observarse los valores de P absorbido y los pesos secos obtenidos, ambos indicados en el Cuadro 2.

Para los suelos Cariari y Buenos Aires, el crecimiento máximo fue alcanzado aplicando dos veces el nivel óptimo recomendado (4); mientras que para el suelo Guácimo el óptimo real se logró al aplicar cuatro veces el nivel óptimo recomendado más la adición de Zn. El análisis de varianza indica una respuesta significativa al P para los tres suelos y para Zn en el caso del suelo Buenos Aires, como se observa en el Cuadro 3.

Se notó que para un suelo fuertemente fijador de fósforo, el nivel de 36 ppm propuesto con base en la metodología de Díaz-Romeu y Hunter (4) no es suficiente para asegurar la máxima producción de biomasa en el invernadero. Datos similares fueron obtenidos por Bertsch para andosoles de Guanacaste (1).

Cuadro 1. Extracción de fósforo ($\mu\text{g}/\text{maceta}$) por planta de tomate (*Lycopersicon esculentum* M.) a las seis semanas de edad. Promedio de cuatro repeticiones.

Tratamiento	Suelo		
	Cariari	Guácimo	Buenos Aires
	$\mu\text{g}/\text{maceta}$		
P ₀ Z ₀	100	200	100
P ₀ Z ₁	200	200	100
P ₀ Z ₂	200	200	100
P ₀ Z ₃	140	300	100
P ₁ Z ₀	4 900	12 000	12 900
P ₁ Z ₁	6 200	12 200	15 400
P ₁ Z ₂	3 400	12 000	14 100
P ₁ Z ₃	3 300	10 800	17 700
P ₂ Z ₀	29 900	21 700	26 700
P ₂ Z ₁	23 700	21 000	32 900
P ₂ Z ₂	25 400	21 900	31 700
P ₂ Z ₃	23 800	21 100	34 400
P ₃ Z ₀	11 200	17 800	28 000
P ₃ Z ₁	12 200	28 900	30 600
P ₃ Z ₂	15 200	26 500	24 500
P ₃ Z ₃	13 300	34 300	31 500

- P₀ = 0 fósforo,
 P₁ = nivel óptimo de fósforo para cada suelo (36 $\mu\text{g}/\text{ml}$ P extraíble),
 P₂ = dos veces el nivel óptimo,
 P₃ = cuatro veces el nivel óptimo,
 Z₀ = 0 zinc,
 Z₁ = 0.5 del nivel óptimo de zinc para cada suelo,
 Z₂ = nivel óptimo (9 $\mu\text{g}/\text{ml}$ de Zn extraíble),
 Z₃ = dos veces el nivel óptimo.

Cuadro 2. Promedio de cuatro repeticiones para el rendimiento de materia seca (g/maceta).

Tratamiento	Suelo		
	Cariari	Guácimo	Buenos Aires
	g/maceta		
P ₀ Z ₀	0.14 f	0.19 e	0.12 e
P ₀ Z ₁	0.17 f	0.18 e	0.13 e
P ₀ Z ₂	0.17 ef	0.19 e	0.13 e
P ₀ Z ₃	0.17 f	0.28 e	0.11 e
P ₁ Z ₀	4.41 def	6.24 ed	9.83 d
P ₁ Z ₁	5.60 cde	6.43 cd	11.23 bc
P ₁ Z ₂	3.30 ef	4.05 d	11.60 bc
P ₁ Z ₃	3.25 ef	5.66 d	13.3 bc
P ₂ Z ₀	15.13 a	11.33 b	12.0 bc
P ₂ Z ₁	11.68 b	11.15 b	15.1 a
P ₂ Z ₂	14.15 b	11.26 b	13.8 bc
P ₂ Z ₃	11.08 bc	11.13 b	16.1 a
P ₃ Z ₀	8.95 bc	9.48 bc	11.7 bc
P ₃ Z ₁	8.90 cd	12.88 b	13.2 bc
P ₃ Z ₂	10.68 bc	11.51 b	10.3 d
P ₃ Z ₃	9.80 bc	14.88 a	12.7 bc

* Todos los promedios seguidos por la misma letra no difieren significativamente del nivel de 1% según la prueba de Duncan.

En el caso de los suelos Cariari y Buenos Aires, el nivel de cuatro veces el óptimo propuesto resultó excesivo, reduciéndose en general la producción. Esta merma fue menor cuando se aplicó el nivel máximo de Zn.

En el caso del suelo Cariari no se observó una tendencia estadística clara de la interacción P-Zn, como se puede notar en el Cuadro 3. Para el suelo Guácimo, las aplicaciones de Zn aumentaron la absorción de P en la planta de tomate, como lo significa la interacción P-Zn indicada.

Absorción de Zn por las plantas

La extracción de Zn por las plantas se presenta en el Cuadro 4. Los datos de la misma son relativamente altos si se los compara con los valores de Mengel (11) y Cannell *et al* (3). Se observa que la extracción de P correspondiente al nivel 0 fue muy baja, confirmando por la ley de Liebig, que el elemento más limitante en este caso fue el fósforo; incluso al nivel P uno seguía causando una reducción en el crecimiento y de extracción de Zn.

En general, la extracción de Zn aumentó con la aplicación del elemento y también con el incremento en la aplicación de P hasta el nivel de P 2. Esta observación discrepa de los resultados obtenidos en suelos de zonas templadas por Bingham y Garber (2), quienes encontraron que el P aplicado redujo el Zn en las plantas. En dos de los tres suelos ocurrió una reduc-

ción de Zn absorbido a nivel de P 3. El suelo Guácimo fue la excepción y también tuvo un comportamiento diferente en relación a la absorción de fósforo por las plantas de tomate.

Se observó de que en presencia de cantidades constantes de P, el contenido de Zn aumentó en forma proporcional a la adición de este elemento. En Costa Rica, Marinho e Igue (10) han hecho anotaciones similares a las indicadas anteriormente, como una absorción de Zn muy reducida y un mal crecimiento de las plantas cuando no se aplicó fósforo. Resultados semejantes se han logrado bajo condiciones (7, 9, 12, 13, 14, 16).

Relaciones P/Zn en las plantas

En el Cuadro 5 se presentan las relaciones P/Zn en las plantas; en el cual los valores extremos de 4 y 117 corresponden a plantas que crecieron en el suelo Buenos Aires. Como era de esperar, los valores máximos de la relación pertenecen a los tratamientos con Zn igual a cero y su reducción progresiva al aumentar los niveles de Zn aplicados. Para las plantas de tomate cultivadas en los suelos Buenos Aires y Guácimo, los valores aumentaron también con la aplicación de P, mientras que para el suelo Cariari no se presentó una tendencia clara.

Excepto cuando el valor de la relación fuera muy bajo (< 15), lo que se asoció con plantas muy deficientes en P (tratamiento 0 con este elemento), no se

Cuadro 3. Análisis de varianza para P extraído por tomate de los tres suelos.

Factor	G.L.	Suelo					
		Guácimo		Cariari		Buenos Aires	
		C.M.	Error	C.M.	Error	C.M.	Error
Aplicación Zn	3	0.432	2.227	0.049	0.157	0.551	5.448**
Aplicación P	3	22.410	115.477**	20.156	63.876**	33.029	362.344**
Interacción Zn-P	9	0.565	2.931**	0.164	0.521	0.153	1.514
Repetición	3	0.368	1.901	0.617	1.956	0.255	2.521
Error	45	0.194	—	0.315	—	0.101	—

** Diferencia estadística altamente significativa

Cuadro 4. Extracción de zinc en $\mu\text{g}/\text{maceta}$ en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* M.) de seis semanas de edad. Promedio de cuatro repeticiones.

Tratamiento	Suelo		
	Cariari	Guácimo	Buenos Aires
P ₀ Z ₀	4	24	12
P ₀ Z ₁	24	26	19
P ₀ Z ₂	34	32	24
P ₀ Z ₃	34	45	21
P ₁ Z ₀	296	248	385
P ₁ Z ₁	424	505	708
P ₁ Z ₂	273	324	790
P ₁ Z ₃	469	550	1 163
P ₂ Z ₀	679	443	465
P ₂ Z ₁	761	783	735
P ₂ Z ₂	1 091	764	1 080
P ₂ Z ₃	1 224	953	1 095
P ₃ Z ₀	412	442	284
P ₃ Z ₁	561	752	580
P ₃ Z ₂	740	867	482
P ₃ Z ₃	1 180	1 298	1 174

- P₀ = 0 Fósforo,
P₁ = nivel óptimo de fósforo para cada suelo (36 $\mu\text{g}/\text{ml}$ de suelo),
P₂ = dos veces el nivel óptimo,
P₃ = cuatro veces el nivel óptimo,
Z₀ = 0 Zinc,
Z₁ = 0.5 del nivel óptimo de zinc para cada suelo,
Z₂ = nivel óptimo (9 $\mu\text{g}/\text{ml}$ de zinc extraíble),
Z₃ = dos veces el nivel óptimo.

observó correlaciones claras entre el peso seco producido y la relación P/Zn. Con una excepción, todos los valores fueron inferiores al valor de 100, el cual según Terman *et al* (15) es un valor correcto en el caso del maíz. Es probable que siendo más jóvenes los tejidos de tomate estudiados se presentaran relaciones más estrechas.

Por otra parte, con la máxima producción (grupo Duncan a) la relación P/Zn osciló entre 27-48, ámbito considerado como un posible óptimo para plantas de

tomate. Para el siguiente grupo (Duncan b) fue mucho más amplio (la relación varió de 11 a 117), aunque un subgrupo de este conjunto varió entre 16 y 56 y representó mucho menos variación, incluyendo un 82% de los datos.

Rendimiento de materia seca

El factor que más influyó sobre la producción fue la aplicación de P; para los suelos Buenos Aires y

Cuadro 5. Relación fósforo-zinc (P/Zn) en plantas de tomate de seis semanas de edad.

Tratamiento	Suelo		
	Cariari	Guácimo	Buenos Aires
P ₀ Z ₀	60	10	10
P ₀ Z ₁	15	8	6
P ₀ Z ₂	6	6	4
P ₀ Z ₃	13	6	5
P ₁ Z ₀	17	46	34
P ₁ Z ₁	16	27	24
P ₁ Z ₂	10	21	18
P ₁ Z ₃	7	19	16
P ₂ Z ₀	48	54	58
P ₂ Z ₁	35	28	45
P ₂ Z ₂	24	29	30
P ₂ Z ₃	19	23	36
P ₃ Z ₀	26	66	117
P ₃ Z ₁	21	42	56
P ₃ Z ₂	20	32	58
P ₃ Z ₃	11	27	31

Cariari el óptimo se logró con el nivel P₂ y para Guácimo con nivel P₃. Se notó, al igual que Bertsch (1) que cuando no se agregó P, los rendimientos fueron muy bajos.

Los niveles de Zn no incidieron directamente en la producción de materia seca, a pesar de los bajos niveles de Zn nativo en los suelos (6), excepto para el suelo Buenos Aires y ligeramente para Guácimo como se observa en el Cuadro 2. Para suelos cañeros en Costa Rica, las altas aplicaciones de P requieren de altas aplicaciones de Zn (5).

Resumen

Se estudió en el invernadero el efecto de la aplicación de cero, del nivel requerido para suplir 36 µg/ml de P, el doble y el cuádruple de esta cantidad, la cantidad necesaria para suplir 4.5 µg/ml, el doble y el cuádruple de esta cantidad de Zn disponible, determinados con base en curvas de absorción según la metodología de Díaz-Romeu y Hunter (4) y usando el tomate como planta indicadora en tres suelos ácidos y bajos en Zn de Costa Rica.

Se observó que el elemento limitante era P y que incluso aplicaciones más altas no redujeron la absorción de Zn. Se obtuvo respuesta hasta dos veces del nivel óptimo recomendado de P en dos suelos hasta cuatro veces esta cantidad en un suelo.

La relación P/Zn varió entre 27 y 48 para la producción óptima y de 16 a 56 para el 85 % de la buena producción. Las plantas de los tratamientos de P igual

a 0, de muy baja producción, se caracterizaron por relaciones P/Zn bajas (menos 15), con una sola excepción.

Literatura citada

- BERTSCH, F. Fertilidad de nueve suelos clasificados como Typic Dystrandepths en Costa Rica. Tesis M.Sc. Programa UCR-CATIE, 1982. 122 p.
- BINGHAM, F.T. y GARBER, M.J. Solubility and availability of micronutrients in relation to phosphorus fertilization. Soil Science Society of America Proceedings 24(3):209-213. 1960.
- CANNELL, G.H., BINGHAM, F.T. y GARBER, M.J. Effects of irrigation and phosphorus on vegetative growth and nutrient composition of tomato leaves. Soil Science 89:53-60. 1960.
- DIAZ-ROMEU, R. y HUNTER, A. Metodología de muestreo de suelo, análisis químico de suelos y tejido vegetal, e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 1978. 68 p.
- GRISOLIA, F. y BORNEMISZA, E. Interacciones fósforo, zinc y manganeso en ocho suelos de Costa Rica. Congreso Latinoamericano de Suelos, 5^o Medellín, Colombia. 1975. pp. 355-357.

6. GUZMAN, M.E. y BORNEMISZA, E. Relaciones fósforo-zinc en tres suelos ácidos de Costa Rica I. Turrialba. 33(3):257-264. 1983.
7. JACKSON, T.L. HAY, J. y MOORE, D.P. The effect of Zn on yield and chemical composition of sweet corn in Willamette Valley. Journal American Society of Horticultural Sciences 91:462-471. 1967.
8. JOHNSON, C.M. y ULRICH, A. Analytical methods for use in plant analysis. California Agricultural Experimental Station Bulletin No. 766. 1959. pp. 28-45.
9. LONERAGAN, J.F. *et al.* Phosphorus toxicity as a factor in zinc-phosphorus interactions in plants. Soil Science Society America Journal 43(5):966-972. 1979.
10. MARINHO, M.L. e IGUE, K. Factors affecting zinc absorption by corn from volcanic ash soils. Agronomy Journal 64(1):3-8. 1972.
11. MENGEL, K. Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Jena DDR, G. Fischer Verlag. 1965. pp. 245-258.
12. MILLIKAN, C.R. Effects of different levels of zinc and phosphorus on the growth of subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) Australian Journal Agricultural Research 14:180-205. 1963.
13. REUTHER, W. *et al.* Phosphorus trials with oranges in Florida. I. Effects on yield, growth and leaf and soil composition. Proceedings of the American Society Horticultural Sciences 52:71-84. 1949.
14. SHARMA, K.C. *et al.* Interaction of Zn and P in top and root of corn and tomato. Agronomy Journal 60(5):453-456. 1968.
15. TERMAN, G.L., GIORDANO, P.M. y ALLEN, S.E. Relationships between dry matter yields and concentrations of Zn and P in young corn plants. Agronomy Journal 64:684-687. 1972.
16. WATANABE, F.S., LINDSAY, W.E. y OLSEN, S.R. Nutrient balance involving phosphorus, iron and zinc. Soil Science Society of America Proceedings 29:562-565. 1965.