



**INFLUENCIA DEL ZINC EN LA RESISTENCIA DEL
PLÁTANO AL MAL DE PANAMÁ
(*Fusarium oxysporum f. sp. cubense*)**

Ana Sabogal Dunin Borkowski
*Pontificia Universidad Católica del Perú,
Departamento de Ciencias, Sección Química.
Apartado 1761, Lima 100, Perú*

RESUMEN

El presente artículo revisa la función del zinc en la planta de plátano. Partiendo de la premisa que una balanceada nutrición del plátano con zinc mejora la resistencia de la planta a la enfermedad denominada mal de Panamá causada por el hongo *Fusarium oxysporum f. sp. cubense*. Para ello se realiza el cultivo del plátano in vitro con tres dosis de zinc y se describe los síntomas visuales de deficiencia en plantas de laboratorio.

La resistencia del plátano a la enfermedad parece estar influenciada por la formación de un tejido parenquimático en el xilema denominado tilosas y a la formación de geles, tejido producido a partir de la pared celular de las células exteriores del xilema. Estos dos tejidos bloquean el xilema impidiendo la difusión de la enfermedad. El zinc influye en la formación de estos tejidos al estar vinculado al metabolismo de la auxina. Las plantas resistentes a la enfermedad tienen una mayor velocidad de formación de tilosas.

INTRODUCCIÓN

El presente artículo resume el trabajo de investigación realizado en la Universidad Técnica de Berlín [1]. En ella se revisa la relación existente entre la deficiencia de zinc y la resistencia de la planta de plátano al mal de Panamá (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*). Para ello se realiza el cultivo del plátano con diferentes dosis de zinc y se describe los síntomas de deficiencia de zinc.

Hasta la fecha no existe un control químico de esta enfermedad; el control es preventivo, todos los factores que debilitan a las plantas incentivan el desarrollo del hongo. Se ha observado una relación directa entre la deficiencia del zinc y la infección del hongo [2].

Antecedentes

El suelo ideal para el cultivo del plátano es un suelo profundo rico en humus de textura media, arcillo arenoso y buen drenaje con un pH de 6,5 [3]. La deficiencia de zinc ha sido observada con frecuencia en la planta de plátano, las causas pueden ser deficiencia de zinc en el suelo, bajas cantidades de materia orgánica, elevado pH o estructura inadecuada del suelo [2]. Se ha observado una influencia de las elevadas temperaturas en la disminución de la absorción de zinc atribuyéndolo al balance hídrico en zonas áridas [4]. En climas templados la deficiencia de zinc es consecuencia de la baja temperatura que disminuye la actividad fisiológica de la planta y por ende la asimilación de nutrientes.

En la costa en suelos básicos el zinc se encuentra formando carbonatos, a ello se debe que en suelos ricos en calcio exista deficiencia de zinc [5]. El zinc es bloqueado por el potasio. En suelos áridos la

presencia de elevada cantidad de sodio causa deficiencia de zinc y una elevación del contenido de fósforo en la planta [6]. En estos suelos los rendimientos de plátano son bajos.

Bajo condiciones de selva, en suelos arcillosos, los problemas que se presentan son principalmente la falta de aireación y drenaje del suelo, lo que dificulta el desarrollo de la raíz del plátano y repercute en su nutrición y desarrollo del mismo [7, 8]. En suelos de pH bajo el zinc ha sido lavado por las lluvias o se encuentra formando fosfatos. El mismo problema se presenta en suelos que han sido abonados en exceso con fósforo. La toxicidad del fósforo esta unida a la deficiencia de zinc [9, 10]. En suelos con elevada cantidad de materia orgánica el zinc es fácilmente atrapado por sustancias orgánicas formando complejos solubles.

El zinc es un elemento muy importante para la producción y calidad del plátano. La extracción anual por hectárea de una planta de plátano de la variedad Cavendish, es de 0,5 kg [11]. Las plantas con deficiencia de zinc presentan frutos deformes y pequeños [12] y su producción es baja. Las necesidades del plátano en zinc se encuentran en un valor que fluctúa entre 350 y 500 g de zinc/ha [11, 13]. La distribución del zinc en la planta varía con la edad siendo máximo al finalizar la etapa vegetativa con la aparición del racimo floral.

La toxicidad del zinc es poco frecuente y ha sido muy poco descrita. En plátano no se conoce los rangos de toxicidad. Para otras especies se observan síntomas de toxicidad de zinc a partir de 200 mg Zn/kg de materia seca [5] y entre 400 y 500 mg Zn/kg materia seca [14].

El zinc en la planta tiene la función de activar enzimas [15]. El zinc esta involucrado en la fotosíntesis, en la respiración, en el metabolismo del nitrógeno, de la lignina, de los fenoles, de las hormonas y en la formación de aminoácidos [9]. El zinc es también el componente de varias enzimas [15]. La deficiencia de zinc disminuye la síntesis de auxinas lo que provoca disminución el crecimiento de los entrenudos, de la planta [16]. Bajo condiciones de deficiencia de zinc el crecimiento radicular disminuye [9].

A consecuencia de la disminución de la absorción de nutrientes las hojas y los frutos son pequeños y los frutos deformes [9]. El número de

hojas disminuye, debido a la pérdida de los brotes y las hojas mueren tempranamente [15].

El zinc cuida a la membrana de la célula de su desintegración [10] al proteger a la membrana de la peroxidación [14]. El zinc es parte componente de la superoxidismutasa (SOD) la que se encuentra sobre todo en los cloroplastos [14]. Al haber ausencia de zinc el número y la estructura de los cloroplastos disminuyen, y en vez de cloroplastos se observa vacuolas [15]. El zinc es importante para la estabilidad de los ribosomas, al haber deficiencia de zinc los ribosomas se rompen con facilidad [15]. En la planta se observa clorosis intervenal alternando franjas verde oscuro con amarillo. Al haber elevada deficiencia de zinc se extienden puntos blancos en las hojas jóvenes y la parte inferior de las hojas toma una tonalidad marrón rojiza [13] a consecuencia del exceso de fósforo. Al presentarse deficiencia de zinc se observa acumulación de fósforo en concentraciones tóxicas en las hojas viejas [10] debido a que el zinc tiene la función de controlar la absorción del fósforo en las plantas. Existe una similitud entre los síntomas de la toxicidad del fósforo y la ausencia de zinc [9].

PARTE EXPERIMENTAL

En el Instituto de Nutrición Mineral de la Universidad Técnica de Berlín se realizó un experimento con tres niveles de zinc, con el fin de observar los síntomas de deficiencia de zinc en la variedad de plátano 'Dwarf Cavendish'. En base a la literatura revisada se establecieron tres dosis diferentes de zinc: óptima, $3,0 \mu\text{M Zn}$; deficiente, $0,3 \mu\text{M Zn}$ y nula, $0,0 \mu\text{M Zn}$.

Para la observación al microscopio electrónico se utilizó trozos de 3mm de hoja de la punta, la parte media y el extremo basal de la hoja. La hoja utilizada era la tercera hoja más joven de la planta. Las plantas fueron observadas durante 12 semanas. En las plantas se observó diferencias a partir de la cuarta semana. Se realizaron 12 repeticiones de cada tratamiento. Las condiciones ambientales en que fueron cultivadas las plantas fueron: temperatura: $22-24^{\circ}\text{C}$, humedad relativa: 60- 80%, fotoperiodo: 12 horas/ día, intensidad de luz: 7 klux, pH 5,5- 5,8. Las plantas utilizadas de la variedad 'Dwarf Cavendish' provenían de la

Isla de Tenerife. Los primeros síntomas externos fueron observados luego de cuatro semanas. (Figs. 1 y 2).

La solución nutritiva fue la siguiente:

K: 0,75 mM, Na: 0,02 mM, Ca: 0,50 mM, Mg: 0,20 mM, NO_3^- : 1,20 mM, SO_4^{2-} : 0,03 mM; PO_4^{3-} : 0,15 mM, Cl: 0,02 mM, Mn: 3,00 μM , B: 14,00 μM , Cu^{2+} : 0,70 μM , Mo: 0,80 μM .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ápice de las plantas sin zinc era de menor tamaño que el de los demás tratamientos como efecto de la disminución de la fotosíntesis debida a la deficiencia de zinc. Se observó también una disminución en el peso fresco de los ápices de las plantas que mostraban deficiencia de zinc. El peso fresco de las raíces era ligeramente inferior en las plantas con deficiencia y ausencia de zinc, ello se explica debido a la disminución de la producción de auxinas.

En las hojas de las plantas sometidas a deficiencia de zinc se observó diferencias en la coloración. Las hojas jóvenes mostraron clorosis y necrosis a partir de los bordes. La coloración marrón oscura característica de las hojas de la variedad 'Dwarf Cavendish' presentaba una menor intensidad (Figs.1 y 2). De la misma manera el tamaño del brote en las plantas sometidas a deficiencia de zinc fue menor, el peso fresco fue un 27% menor. El crecimiento radicular disminuyó 14% con respecto al suministro óptimo. La clorosis de las hojas corrobora la influencia del zinc en el desarrollo de los cloroplastos. La coloración marrón rojiza se debe a la toxicidad de fósforo a consecuencia de la falta de zinc.

La disminución en el tamaño de las plantas que crecieron con deficiencia de zinc se explica por la reducción de la fotosíntesis, ya que el zinc esta involucrado en este proceso [15] y por la disminución del contenido de auxinas. La deficiencia de zinc revierte en la disminución de la síntesis de auxinas. Por ello al haber deficiencia de zinc existe reducción del crecimiento de los entrenudos y de la planta, ello se acentúa en lugares secos y desérticos debido a la disminución de la absorción como consecuencia de la sequía [16].

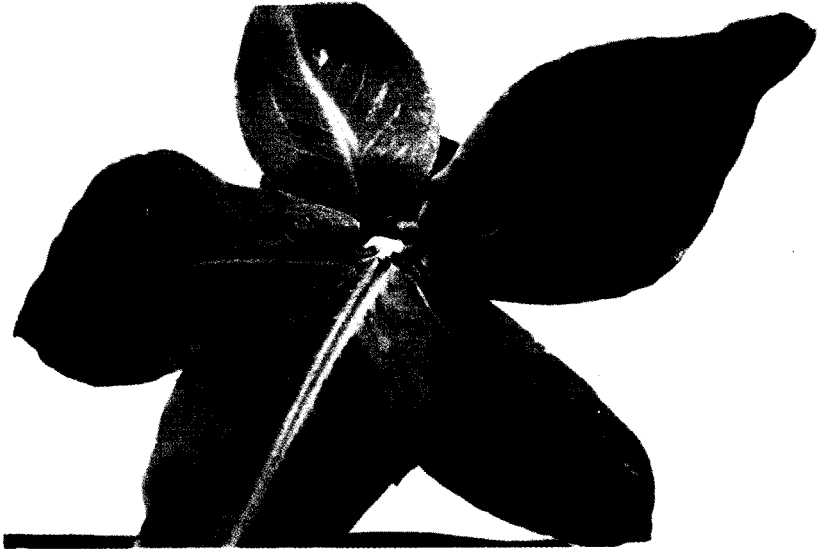


Figura 1. 60 días de tratamiento con zinc 3 μM Zn

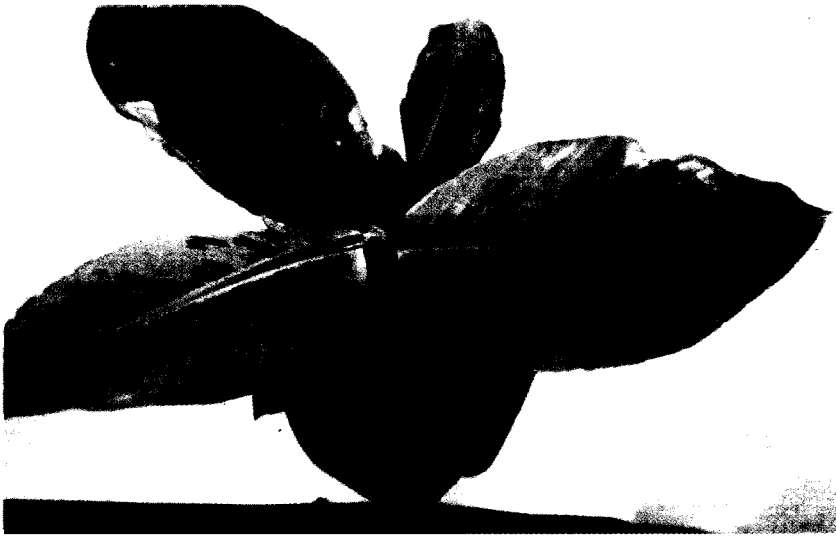


Figura 2. 60 días de tratamiento sin zinc 0,00 μM Zn

En el microscopio electrónico se pudo observar que el borde de las hojas presentaba menos cloroplastos con granos de almidones de menor tamaño (Figs. 3 y 4), ello coincide con la revisión de literatura [15]. Estos síntomas no fueron visibles en el centro de la hoja ni en la punta solo en los bordes. Los cloroplastos de las plantas con deficiencia de zinc eran más pequeños y alargados, ello se observó en las muestras tomadas del borde de las hojas (Figs. 5 y 6). El zinc tiene una influencia indirecta al proteger a los cloroplastos de su desintegración [14].

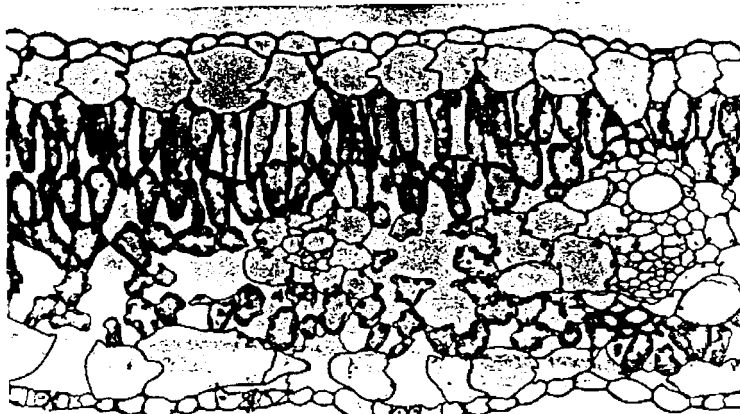


Figura 3. Observaciones microscópicas, borde de hoja, 3 μM Zn

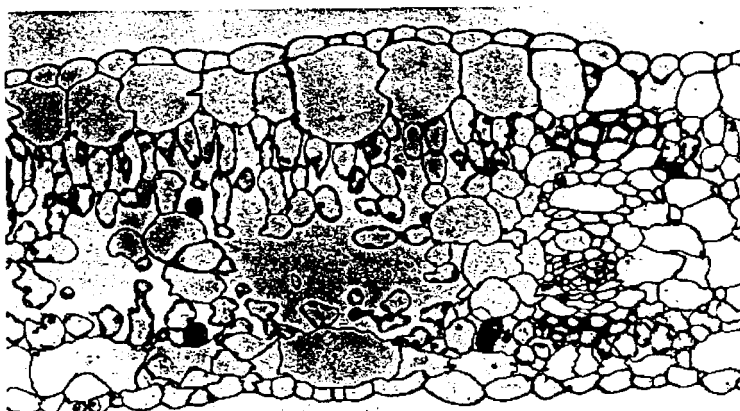


Figura 4. Observaciones microscópicas, borde de hoja, 0,00 μM Zn



Figura 5. Observaciones electromicroscópicas, 60 días de tratamiento con zinc borde de hoja, 3 μM Zn



Figura 6. Observaciones electromicroscópicas, 60 días de tratamiento sin zinc borde de hoja, 0,00 μM Zn

La disminución en el tamaño radicular se explica también debido a la disminución en la síntesis de auxinas que tienen una influencia directa en el desarrollo radicular. El zinc es importante en la planta para el crecimiento de las raíces, lo que repercute en la absorción de los demás nutrientes [7, 8].

Cabe resaltar la relación observada por varios autores entre la deficiencia de zinc y la resistencia de las plantas de plátano al mal de Panamá (*Fusarium oxysporum f. sp. cubense*). Esta relación parece estar ligada a la formación de tejidos en los vasos conductores que impiden la difusión del hongo dentro de la planta. Estos tejidos se constituyen a partir de la pared celular de las células exteriores del xilema y se denominan geles. Un segundo mecanismo de resistencia es la formación de tejidos parenquimáticos adyacentes a los tejidos invadidos denominados "tilosas". Las tilosas permiten aislar al hongo. Las variedades resistentes construyen estas barreras con mayor rapidez, 2-4 días, impidiendo la difusión del hongo [17], mientras que las variedades no

resistentes requieren de 7 a 10 días [12]. El retraso en la formación de 'tilosas' se debe a la disminución en el contenido de auxinas a consecuencia de la deficiencia de zinc en la planta [2]. La formación de "tilosas" parece ser estimulada por la presencia de ácido indolacético [17] el que esta directamente vinculado al metabolismo del zinc. De esta manera una adecuada nutrición de la planta de plátano con zinc permitiría el control del hongo. La presencia del mal de Panamá en la planta es más común cuando las plantas están desequilibradamente nutridas y el suelo es inapropiado [2].

Se ha observado que la inoculación de micoriza (*Glomus mosseae*) mejora el abastecimiento de la planta de plátano con elementos menores como el zinc. Las hifas del hongo aumentan el área de absorción de la raíz y el área de contacto con el suelo pudiendo penetrar en los poros más pequeños del suelo. El pH óptimo para el desarrollo de *Glomus mosseae* es igual al del plátano (5,5 -6,5). Elevada cantidad de fósforo en el suelo repercute negativamente en el desarrollo de la simbiosis. Todo ello repercute indirectamente en la protección de la planta contra el mal de Panamá.

CONCLUSIONES

Al establecerse las cantidades de zinc a abonar tiene que tenerse en cuenta su relación con los demás nutrientes sobre todo con los cationes bivalentes que compiten con el zinc como el cobre, el magnesio y el hierro. Para asegurar la nutrición del plátano en proporciones equilibradas la mejor opción parece ser el abonamiento orgánico. Los quelatos de zinc formados con la materia orgánica aumentan tremendamente la disponibilidad de zinc para la planta. La micoriza (*Glomus mosseae*) puede mejorar la nutrición de la planta con zinc al ampliar el área radicular. Se recomienda realizar mayores experimentos inoculando micoriza (*Glomus mosseae*).

BIBLIOGRAFÍA

1. Sabogal, A (1994) Zinkernahrung der Banane auf tropischen und subtropischen Standorten. Technische Universität Berlin.
2. Borges Pérez, A.; Fernandez Falcón, M; Pérez Francés, J.F. y Lopéz Carreño, J. (1990) El mal de Panamá en las islas Canarias (platanera

- 'Dwarf Cavendish'). Aspectos nutricionales. Phytoma, España N° 8. p. 27-31.
3. Morin, C. (1995) Cultivo de frutas tropicales y menores. Ed. Juridica S.A. Lima.
 4. Fink, A (1979) Dünger und Düngung. Verlag Chemie. Weinheim.
 5. Scheffer y Schachtschabel, P. (1989) Lehrbuch der Bvodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, 12e Auflage, Stuttgart. p. 491.
 6. Mehrotra et. Al., (1986) Soil-sodicity induced Zink deficiency in maize. *Plant and Soil*, 92, 63-71.
 7. Delvaux, B. Y Guyot, Ph. (1989) Caracterisation de l'enracinement du bananier au champ. Incidences sur les relations sol-plante dans les bananeraies intensives de la Martinique. *Fruits*, 44(12), 633-647.
 8. Langenegger, W.; Du Plessis, S. F. (1980) The role of Micro-Elements in banana cultivation. *Bananas E 6/1980. Farming in South Africa*.
 9. Webb, A. J. (1992) Mn, Cu and Zn requirements for wheat root growth. Thesis for the degree of Doktor of Philosophy of Murdoch University. Australia.
 10. Welch, R. M.; Webb, A. J. Y Lonreragan, J.F. (1982) Zink in membrane funktion and role in phosphorus toxicity. *Plant Nutrition*, 2, 710-715.
 11. Lahav, E & Turner, D. W. (1989) Temperature influences the composition of diagnostic samples used to assess the nutrient status of banana. *Scientia Horticulturae* 27, 275-283.
 12. Vander Molen, G. E.; Beckman, C. H. Y Rodehorst, E. (1987) The ultrastructure of the tylose formation in resistant banana following inoculation with *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense*. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 31, 185-200.
 13. Martín-Prével, P. (1980) La nutrition minerale de bananier dans le monde. Premieré partie. *Fruits*, 35(10), 583-589.
 14. Marschner, H (1986) Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. London. p. 370- 381.
 15. Mengel, K. (1991) Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Gustav Fischer Verlag. Jena. p. 466.
 16. Israeli, Y.; Lahav, E. Y Nameri, N. (1986) The effect of salinity and sodium absorption ratio in the irrigation water, on growth and productivity of bananas under drip irrigation conditions. *Fruits*, 41(5) 297-302.
 17. Mace, M.E. y Solit, E. (1966) Interaction of 3-indolacetic acid and 3-hydroxytyramine in *Fusarium* wild of banana. *Phytopathology* 56, 245-247.