

SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA Y CONTENIDO DE MACRO Y MICRONUTRI- MENTOS EN PLANTAS DE BANANO (*Musa AAA*) BAJO CONDICIONES DE CAREN- CIA INDUCIDA EN CULTIVO HIDROPÓNICO.

¹ Alfonso Vargas, ² Patricio Solís

¹ Dirección de Investigaciones, CORBANA Apdo. 390-7210 Costa Rica

² Universidad de Costa Rica. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro, San José, Costa Rica
Rec.:17/7/98 Acep.:14/5/99

ABSTRACT

DEFICIENCY MACRO AND MICRO NUTRIENTS CONTENTS IN BANANA (*Musa AAA*), UNDER INDUCED DEFICIENCY IN HYDROPONIC CULTURE. Nutrient deficiency of N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn and B in 10 weeks old banana (*Musa AAA*, cv. 'Grand Naine', were induced by the missing element technique under hydroponic condition. Nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, iron, zinc, manganese and boron deficiencies were observed. The foliar percentage value of each of the nutrients analyzed (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn, and B) was affected directly ($P < 0,01$) by the deficiency evaluated.

Key words: Hydroponic culture, mineral deficiencies, *Musa AAA*, plant nutrition.

RESUMEN

Deficiencias nutricionales de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn y B, fueron inducidas mediante la técnica del elemento faltante en cultivo hidropónico en plantas de banano (*Musa AAA*, cv. 'Gran Enano') de 10 semanas de edad. Se determinaron síntomas visuales de deficiencia para el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, zinc, manganeso y boro. El valor porcentual foliar de cada uno de los nutrimentos analizados (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn y B), fue afectado diferencialmente ($P < 0,01$) por los tratamientos de deficiencia evaluados.

Palabras clave : Cultivo hidropónico, deficiencias minerales, *Musa AAA*, nutrición mineral.

INTRODUCCIÓN

La actividad bananera es una fuente generadora de divisas para Costa Rica. Dentro del conjunto de elementos agronómicos que componen el sistema de producción, la nutrición mineral es un aspecto importante para la obtención de buenos rendimientos. Ello debido al rápido crecimiento de la planta, la cual requiere para su normal desarrollo y producción, una alta cantidad de nutrimentos. Cuando dicha condición se ve disminuida por factores

adversos de clima, suelo o manejo, los contenidos dentro de la planta disminuyen, provocando la aparición en ella de evidencias visuales de deficiencia. Estas poseen características definidas y propias, cuyas alteraciones en la apariencia y en el contenido de nutrimentos de la planta es necesario conocer y relacionar desde el punto de vista de la fisiología de la planta. Por tal razón, el propósito de este trabajo fue realizar una descripción de los síntomas visuales de deficiencia y una caracterización de los contenidos de macro y micronutrimentos en la planta .

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en CORBANA, en el Centro de Investigación Agrícola "La Rita", ubicado en la provincia de Limón.

La carencia individual de los nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn y B fue inducida mediante la técnica del elemento faltante, en plantas de banano (*Musa* AAA cv. 'Gran enano') provenientes de cultivo *in vitro*, después de diez semanas de haber sido transferidas de su fase de aclimatación. El tratamiento testigo consistió de una solución nutritiva completa (Hoagland y Arnon, 1950). La solución nutritiva se cambió cada 15 días en los diferentes tratamientos siguiendo la metodología indicada por Solís y López (1994). Cada planta se fijó en posición vertical mediante un tutor de cloruro de polivinilo (PVC), insertado a una de las dos mitades de la tapa de asbesto ubicada sobre un recipiente de 10 L de capacidad. Las raíces se pusieron en contacto con la solución de cultivo hidropónico. La aireación de la solución se hizo a través de tuberías y capilares conectados a un compresor marca Rotrom, modelo DR 606 (AREA, Inc., USA), haciendo pasar previamente el aire por filtros de agua para su depuración.

Los tratamientos, cada uno con tres repeticiones se establecieron en el invernadero en un diseño irrestricto al azar. Estos se mantuvieron allí hasta la aparición de los síntomas, momento en el que se realizó la caracterización y el muestreo foliar de las repeticiones de cada tratamiento afectado, y su testigo respectivo. Esta labor se efectuó para la tercer hoja posicional en orden descendente (Lahav y Turner, 1992). Muestras de tejido foliar de plantas afectadas por la deficiencia de Mg fueron enviadas para su análisis al Laboratorio de Fitopatología de la Universidad de Costa Rica. Muestras de tejido foliar de plantas afectadas por las deficiencias de Mg y Mn fueron envia-

das para su análisis al Laboratorio de Fitopatología de la Corporación Bananera Nacional (CORBANA).

La carencia de Mg fue repetida en dos ocasiones más, cada una de ellas realizada en forma posterior a la finalización del correspondiente período de evaluación. La carencia de S fue repetida en una ocasión más. Ello con el propósito de verificar sin ambigüedades los síntomas de deficiencia. Los análisis químicos se realizaron en el Laboratorio de Análisis Químico de la Corporación Bananera Nacional (CORBANA) siguiendo la metodología de Díaz-Romeu y Hunter, 1987). Los valores expresados como porcentaje en base seca (N, P, K, Ca, Mg y S), o mg kg⁻¹ (Fe, Cu, Zn, Mn y B), correspondientes a cada tratamiento de deficiencia, fueron relacionados porcentualmente con aquellos provenientes del respectivo tratamiento testigo y referidos a partir de un 100% de éste. Con ello, fue posible obtener valores porcentuales de aumento o reducción del contenido de nutrientes en función de los tratamientos de deficiencia evaluados. A los porcentajes obtenidos se les realizó un análisis de varianza. Cuando hubo diferencias entre tratamientos las medias se separaron mediante la prueba DMS.

RESULTADOS

Nitrógeno (N):

Su deficiencia causó una disminución de la intensidad del color verde en las hojas y pseudotallos haciendo más evidentes las manchas antocianicas foliares características de juvenilidad. Se observó una reducción considerable en el crecimiento (Fig. 1).

Fósforo (P):

Se localizó en las hojas adultas presentando lesiones necróticas marginales, cuya coa-

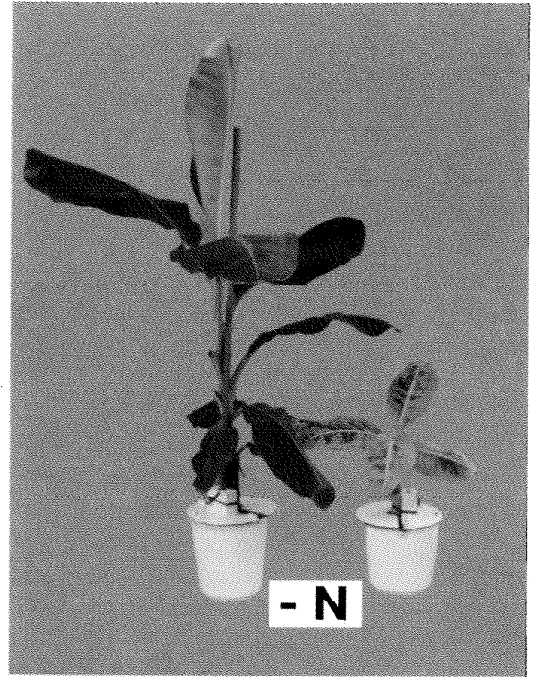


Figura 1. Deficiencia de N (derecha) en plantas de banana en comparación con el respectivo tratamiento testigo respectivo (izquierda).

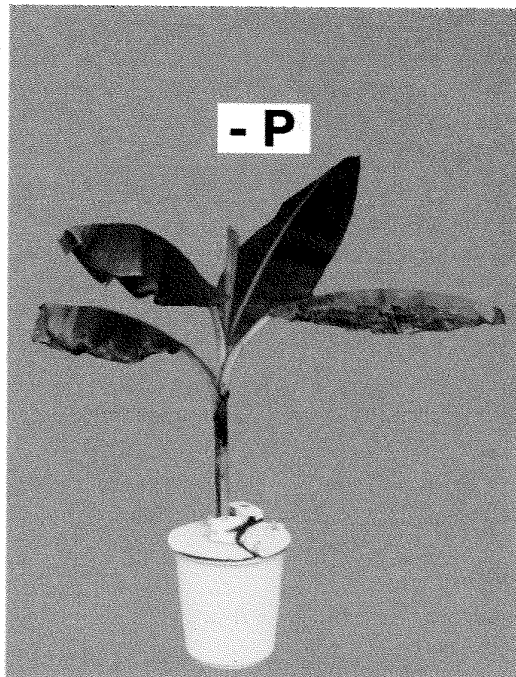


Figura 2. Deficiencia de P en plantas de banana.

lescencia y posterior avance irregular hacia el interior de la lámina foliar, dió al área afectada una apariencia dentada. (Fig. 2).

Potasio (K):

Se observó un amarillamiento y una ligera necrosis marginal en las hojas adultas. Posteriormente la necrosis avanzó hacia el interior de la hoja, precedidas por una amplia zona con crecimiento irregular y de tonalidad anaranjada (Fig. 3).

Calcio (Ca):

La deficiencia de Ca causó la deformación de la hoja más joven abierta, la cual presentó adicionalmente un engrosamiento de sus nervaduras y la formación de áreas translúcidas perpendiculares a la vena central (Fig. 4). La hoja "candela" presentó necrosis y detuvo su desarrollo.

Magnesio (Mg):

Se caracterizó por la presencia de una decoloración marginal en las hojas adultas. Su color habitual permaneció en la parte central de las mismas y a lo largo de la vena central. En la zona clorótica se observaron lesiones necróticas, sin forma definida y rodeadas de un halo amarillento (Fig. 5a). La inducción posterior de la deficiencia de Mg en dos ocasiones más, produjo en la primera de ellas un conjunto de lesiones necróticas ubicadas en la banda decolorada de la hoja. Dichas lesiones al aumentar de tamaño dieron origen a áreas internas de color crema, en las cuales no se halló la presencia de ningún hongo fitopatógeno. (Fig. 5b). Esto fue asociado a un efecto de fotosensibilidad inducido por la deficiencia (Vargas, E. 1996 Universidad de Costa Rica Comunicación personal). En la segunda ocasión, las lesiones encontradas en la banda clorótica de la hoja de plantas deficientes en Mg, fueron asociadas con el hongo *Deightonella torulosa*

(Vargas, E. Universidad de Costa Rica. Comunicación personal. 1996; Guzmán, M. Corporación Bananera Nacional. Comunicación personal. 1996).

Azufre(S):

Las plantas con carencia inducida de S, no mostraron alteraciones morfológicas como consecuencia del tratamiento de deficiencia respectivo. Su apariencia general fue similar a las plantas del tratamiento testigo.

Hierro (Fe):

Se observó en las hojas más jóvenes, las cuales presentaron una clorosis intervenal que inició en la parte basal, del margen hacia el interior; extendiéndose posteriormente a toda la lámina foliar (Fig. 6).

Zinc (Zn):

Se determinó en las hojas más jóvenes. El follaje fue lanceolado. Una coloración marrón se desarrolló paulatinamente del margen hacia el interior de la hoja por el envés, junto con un leve corrugamiento de los bordes en la porción basal (Fig. 7).

Manganeso (Mn):

Se presentó en las hojas jóvenes en forma de una necrosis marginal circundada por un halo estriado que avanzó en forma irregular hacia la vena central. La lámina foliar tendió a curvarse, y presentó un engrosamiento en su venación (Fig. 8). El área necrosada no estuvo asociada con ningún hongo fitopatógeno (Calvo, C. CORBANA. Comunicación personal. 1996) por lo que posiblemente la lesión fue producto del efecto causado por la deficiencia del nutrimento.

Boro (B):

Se localizó en las hojas más jóvenes presentando un gran número de pequeñas

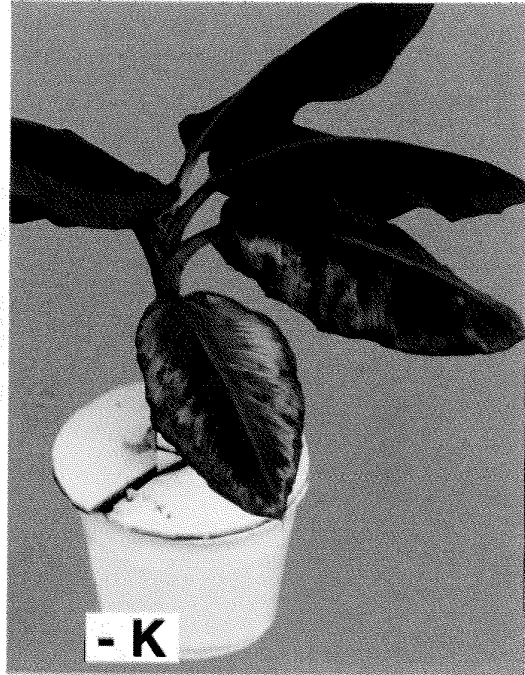


Figura 3. Deficiencias de K en plantas de banano.

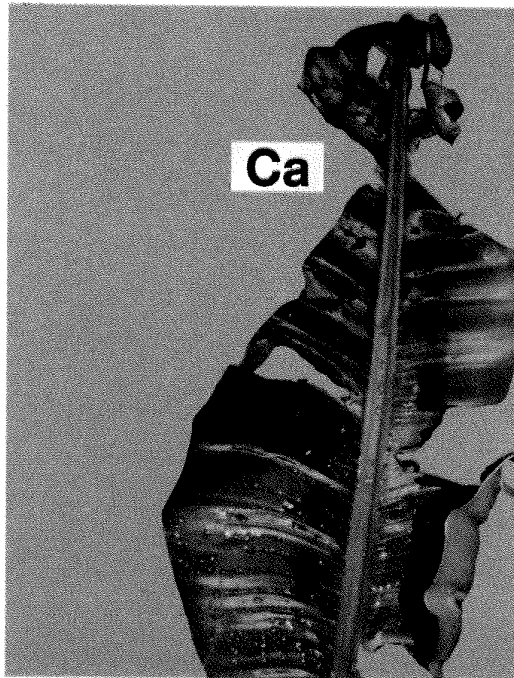


Figura 4. Deficiencia de Ca en plantas de banano.

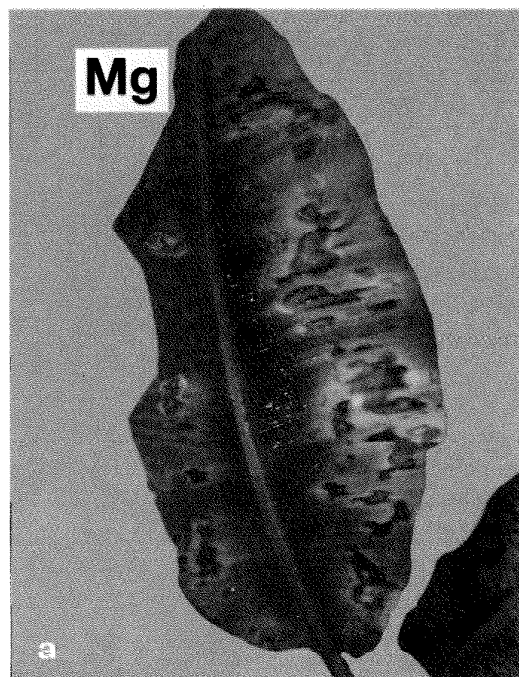


Figura 5. Deficiencia de Mg en plantas de banano: (a) lesiones causadas por el hongo *Deightonella torulosa*; (b) lesiones causadas por fotosensibilización del tejido.

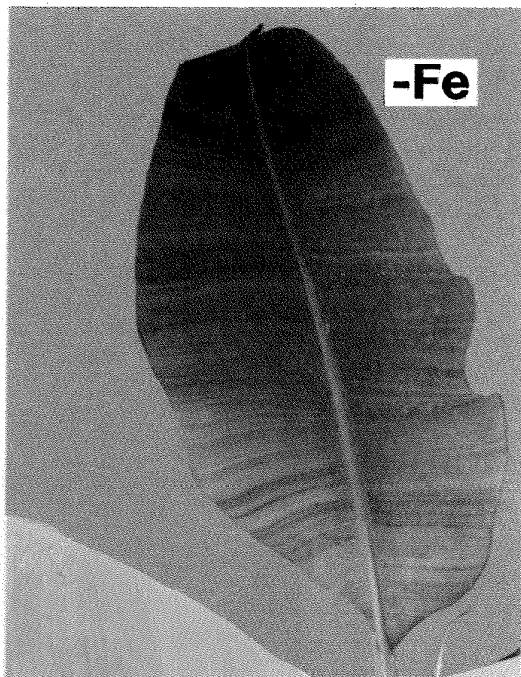


Figura 6. Deficiencia de Fe en plantas de banano.

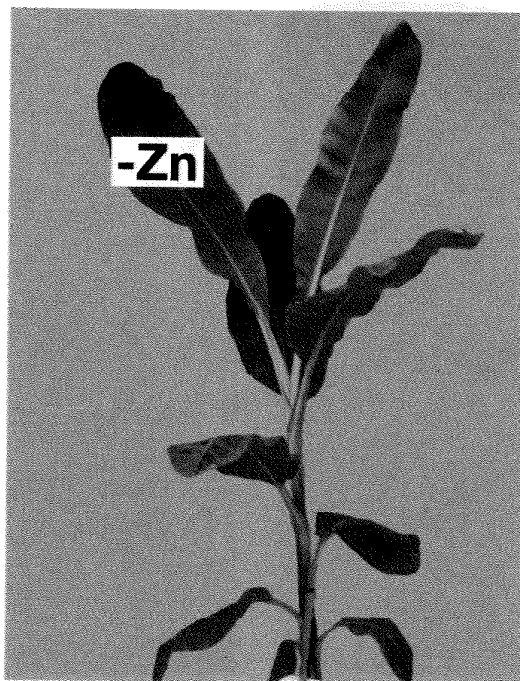


Figura 7. Deficiencia de Zn en plantas de banano.

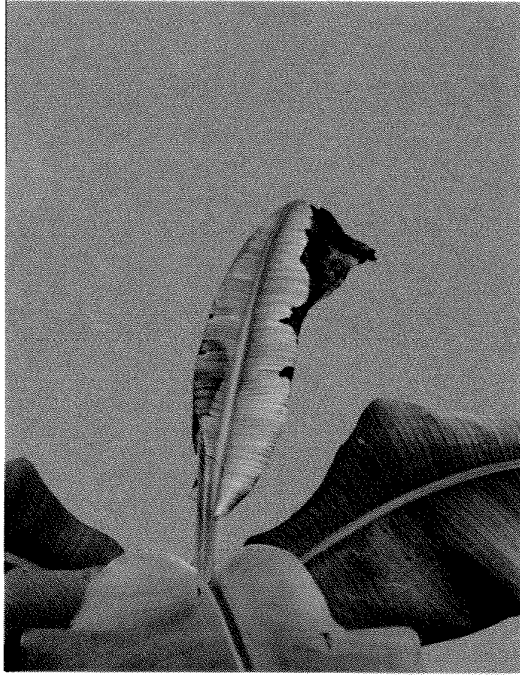


Figura 8. Deficiencia de Mn en plantas de banano.

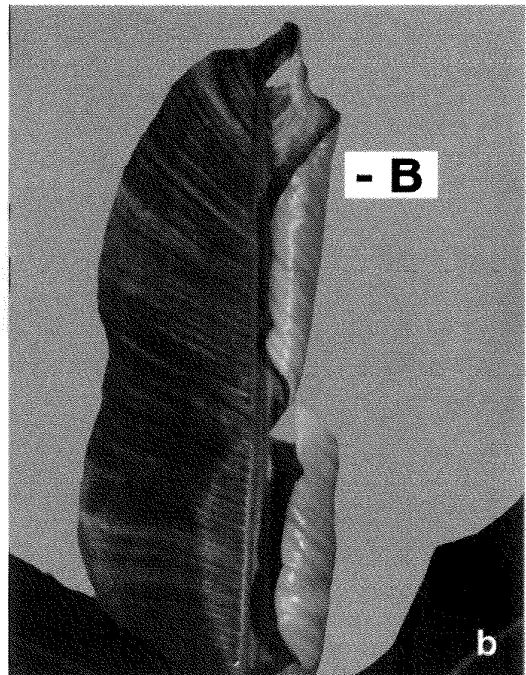
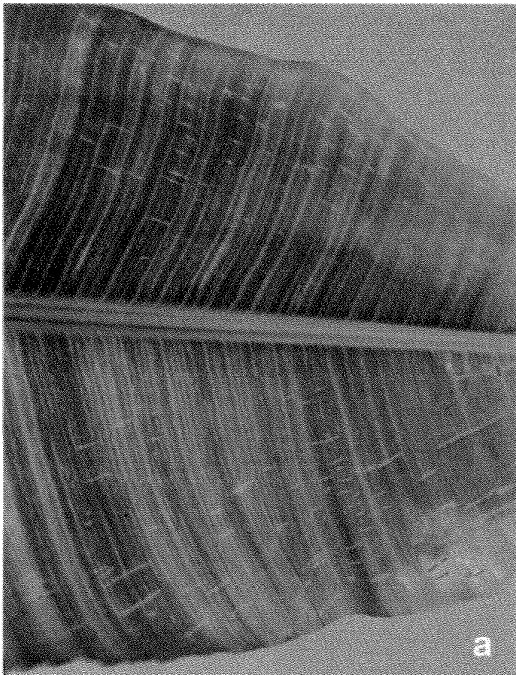


Figura 9. Síntomas visuales de deficiencia de B en plantas de banano: (a) líneas translúcidas; (b) deformación, corrugamiento de los bordes y estrías marginales.

líneas translúcidas distribuidas por toda la lámina foliar y paralelas a la vena central (Fig. 9a). La hoja se deformó y presentó un corrugamiento marginal. Estrías marginales de color amarillo se originaron en la misma dirección de las venas secundarias (Fig. 9b). No se observó necrosis, ni deformación o muerte de la hoja "candela".

Determinación de contenidos foliares (macronutrientes)

El contenido de cada uno de los macronutrientes analizados: N, P, K, Ca, Mg y S fue diferencialmente afectado ($P < 0,01$), por los tratamientos evaluados. La relación porcentual de estos macronutrientes en relación con el testigo respectivo y los elementos faltantes se presenta en la Figura 10.

El mayor incremento de N fue producido por la deficiencia de Ca (20%). Las carencias de P, K, Fe, Zn, Mn y B no difirieron entre sí y no causaron cambios porcentuales importantes en el nutrimento en relación con el testigo respectivo. La concentración de N fue reducida por la deficiencia de su propio nutrimento (48%) y por la carencia de Mg (15%) (Fig. 10a).

El contenido foliar de P, con excepción de la disminución que produjo la carencia del propio nutrimento (81%) y la de Fe (10%), se incrementó con los demás tratamientos. Este alcanzó la mayor magnitud en ausencia de Ca (126%), seguido por la de K (75%) y por las correspondientes a Mn (38%) y Mg (36%), siendo los valores porcentuales de estos dos últimos similares entre sí. Aún cuando las deficiencias de Zn, B y N mostraron un aumento porcentual en el contenido de P, este no difirió del valor que produjo la carencia de Fe antes mencionada (Fig. 10b).

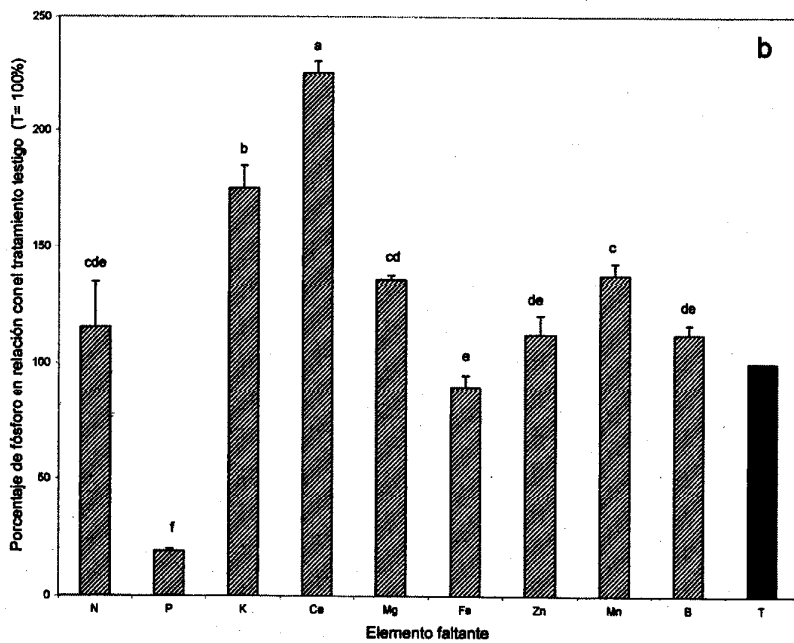
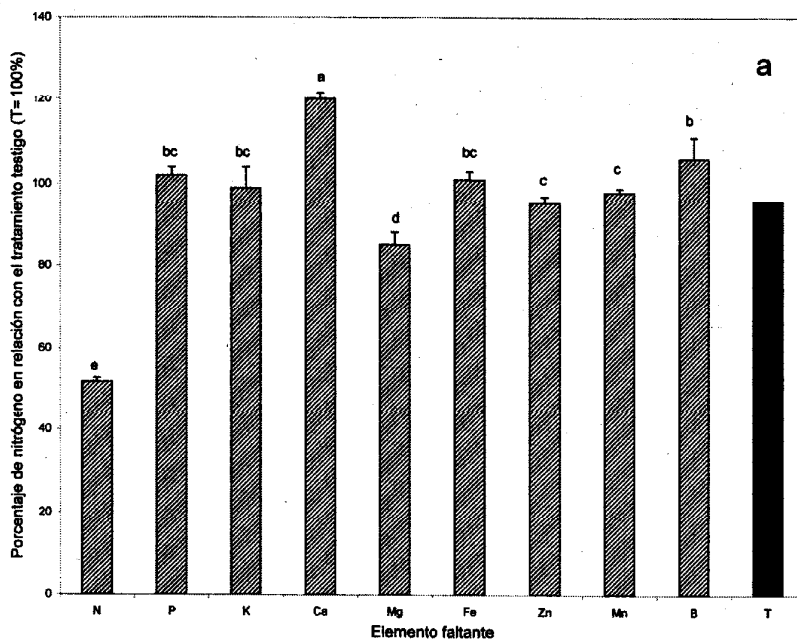
El mayor contenido de K se dió en ausencia de Ca (30%), seguido por las carencias

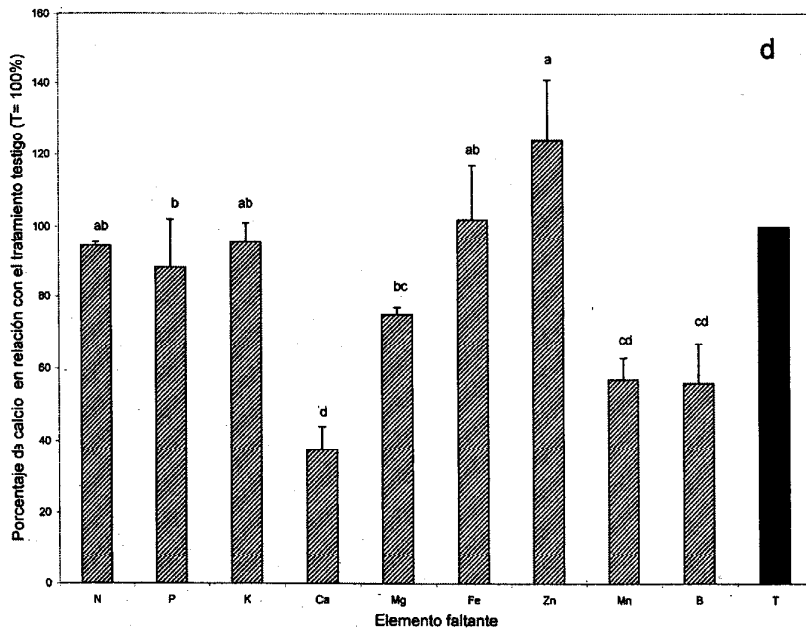
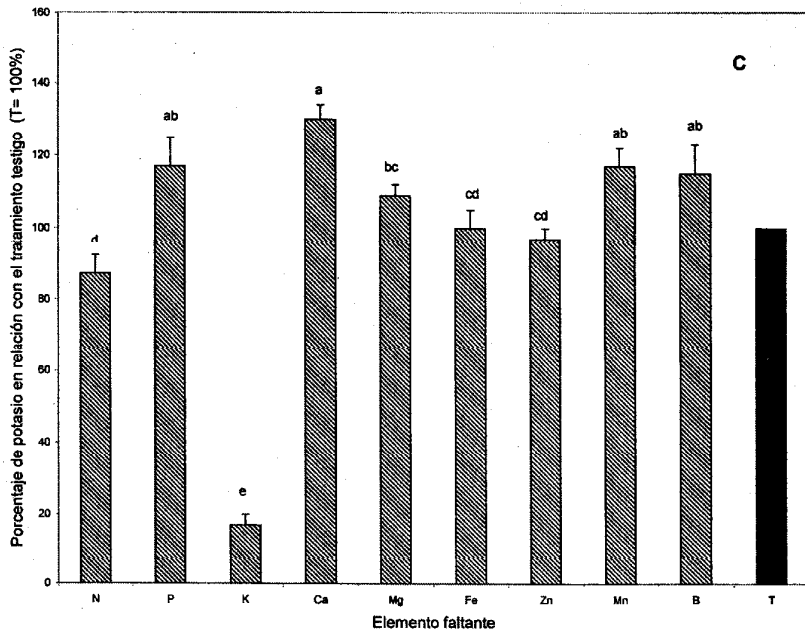
de P, Mn y B (17, 17 y 15% respectivamente), y de Mg (9%). La concentración de K inducida por las deficiencias de N, Fe y Zn no difirió entre sí, presentando en todos los casos, valores porcentuales cercanos al tratamiento testigo. El máximo decrecimiento fue causado por la sustracción del propio nutrimento (83%) (Fig. 10c).

El único incremento en el nivel de Ca fue producido por la carencia de Zn (24%). Dicho valor no difirió del aumento que causó la deficiencia de Fe (2%) o de la disminución que indujo la carencia de N (6%) o de K (5%). El mayor decrecimiento fue producido por el tratamiento de ausencia del propio nutrimento (63%), seguido por los valores que produjeron las deficiencias de B y Mn (44 y 43% respectivamente), y por aquellos que fueron influenciados por las deficiencias de Mg y P (25 y 12% respectivamente) (Fig 10d).

El mayor incremento en el contenido de Mg fue causado por la carencia de Ca (230%). Aumentos adicionales de menor magnitud fueron provocados por las ausencias de N y K (82 y 42% respectivamente). Los incrementos que se expresaron bajo el efecto de las deficiencias de Zn y Fe (22 y 13% respectivamente) no difirieron del valor, similar al tratamiento testigo, que provocó la deficiencia de P, ni de la disminución inducida por las carencias de Mn y B (18 y 19% respectivamente). El mayor decrecimiento porcentual lo indujo la carencia del propio nutrimento (79%) (Fig. 10e).

El incremento porcentual de mayor magnitud sobre la concentración de S fue inducido por la deficiencia de Ca (85%). Aumentos de menor cuantía, sin diferir entre si, fueron provocados por las carencias de B (26%), Mn (21%), Mg (10%) y Fe (8%). El máximo decrecimiento estuvo dado por la ausencia de P (18%), seguido por las deficiencias de K (13%), N (12%) y Zn (10%), valores todos similares entre si (Fig. 10f).





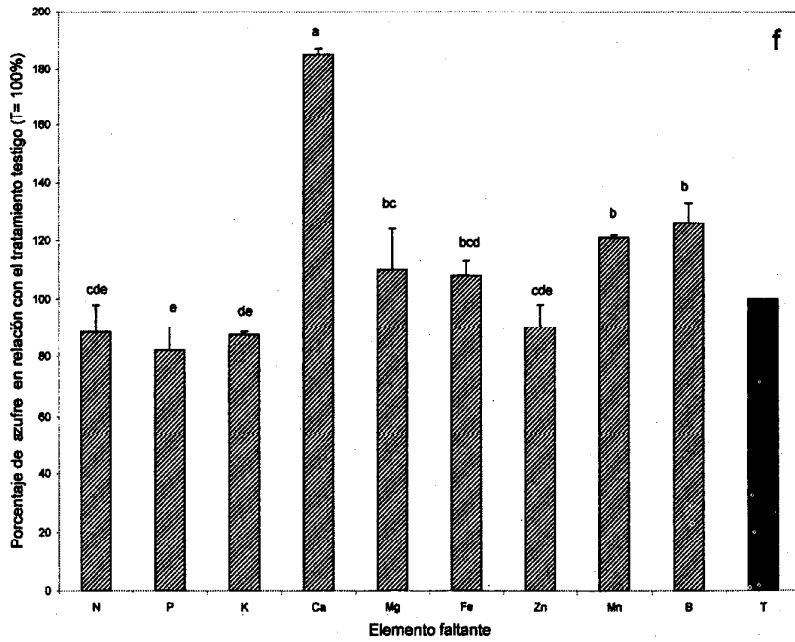
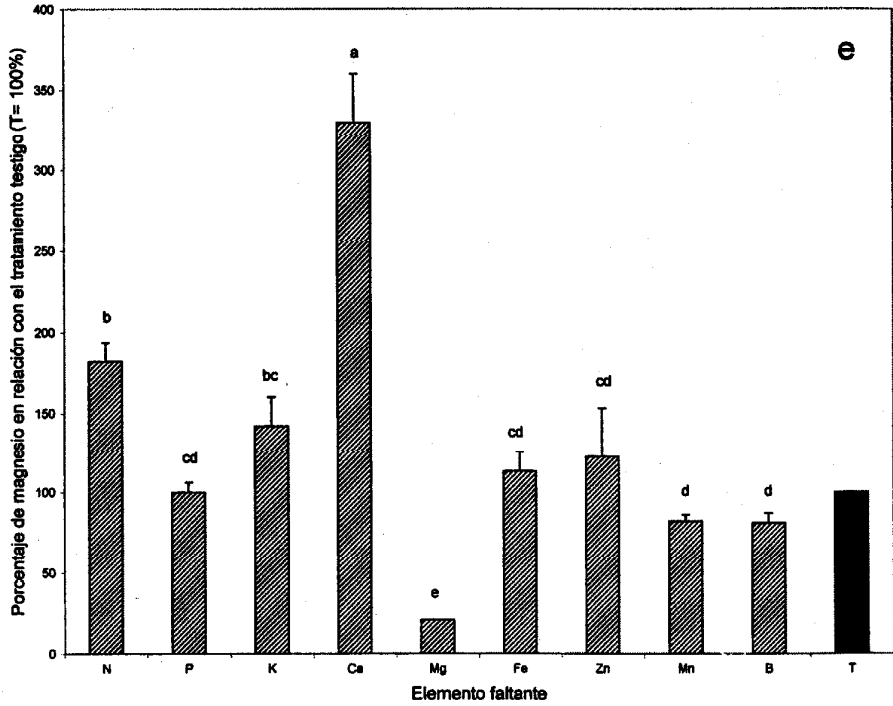


Figura 10. Valores porcentuales de: (a) N, (b) P, (c) K, (d) Ca, (e) Mg y (f) S, en relación con el testigo respectivo (testigo= 100%) en plantas de banano sometidas a deficiencia de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn y B (n= 3).

Determinación de contenidos foliares (micronutrientos)

El contenido de cada uno de los micronutrientos analizados: Fe, Cu, Zn, Mn y B fue afectado diferencialmente ($P < 0,01$). La relación porcentual de estos macronutrientos en relación con el testigo respectivo y los elementos faltantes se presenta en la Figura 11.

El mayor aumento en el contenido de Fe (2179%) fue producido por la deficiencia de K. Este valor difirió del producido por la acción de los restantes tratamientos, quienes mostraron medias similares entre sí. A pesar de la condición estadística antes mencionada, la cual posiblemente tuvo su origen en la gran diferencia porcentual dada, los restantes tratamientos indujeron así mismo aumentos o disminuciones en el contenido de Fe. Los incrementos fueron producidos por las carencias de Ca (95%) de N (21%), de Zn (18%) y de B (6%). La mayor disminución fue producida por la deficiencia de su propio nutriente (73%), seguida por la correspondiente a la de P (56%), por la de Mn (37%) y por la de Mg (13%) (Fig. 11a).

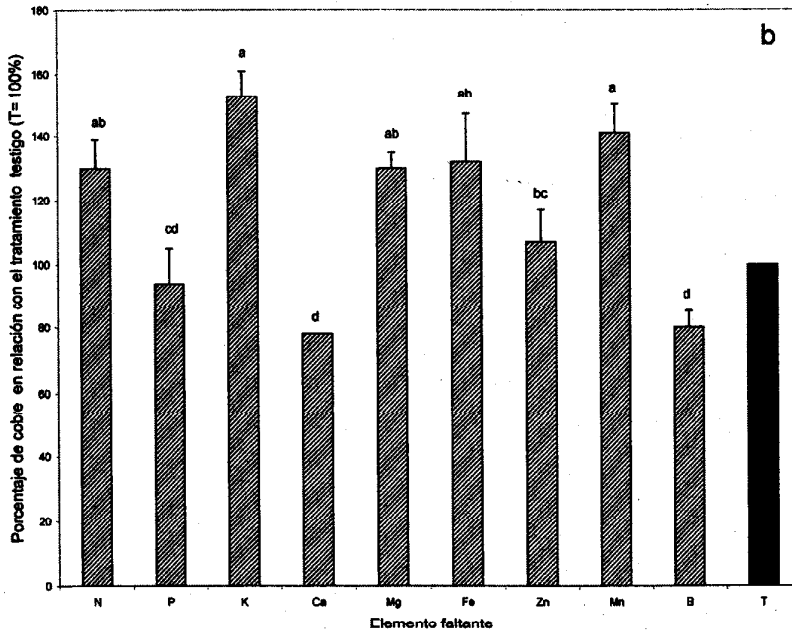
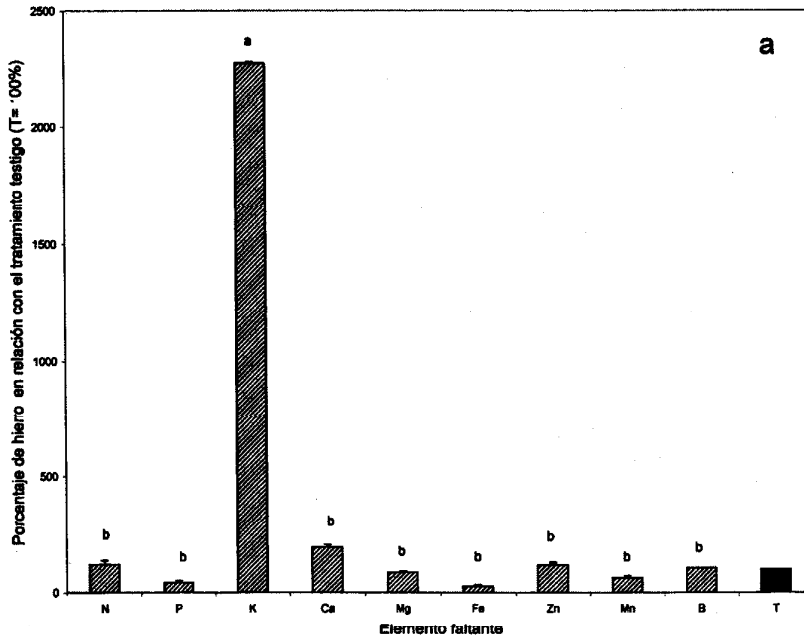
El incremento más alto en la concentración de Cu fue producido por la carencia de K (53%) y de Mn (41%), seguido por aquel inducido por el efecto de las deficiencias de Fe (32%), de N (30%) y de Mg (30%), siendo no obstante todos los anteriores valores similares entre sí. El aumento porcentual que mostró el Cu en ausencia de Zn fue el de menor magnitud (7%). La mayor disminución en el nivel de este micronutriente se observó por la acción de las deficiencias de Ca (22%) y de B (20%)

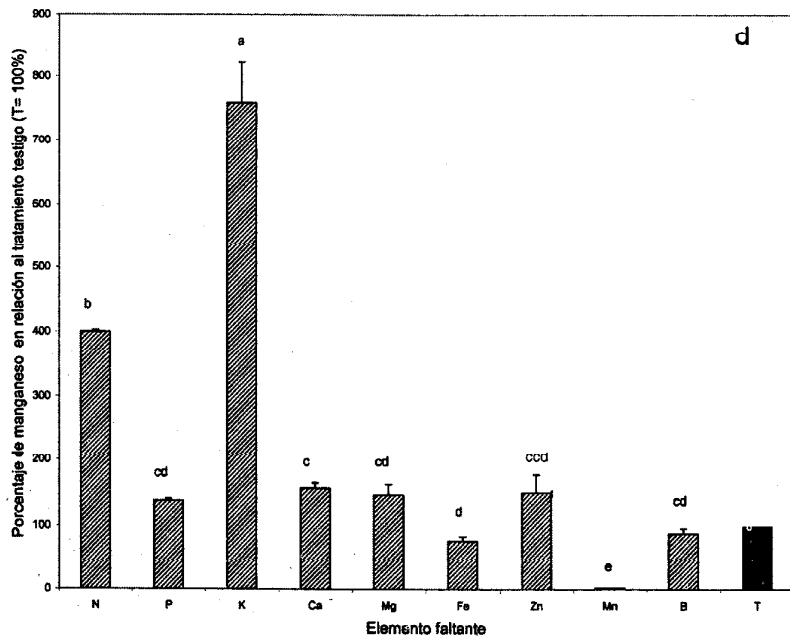
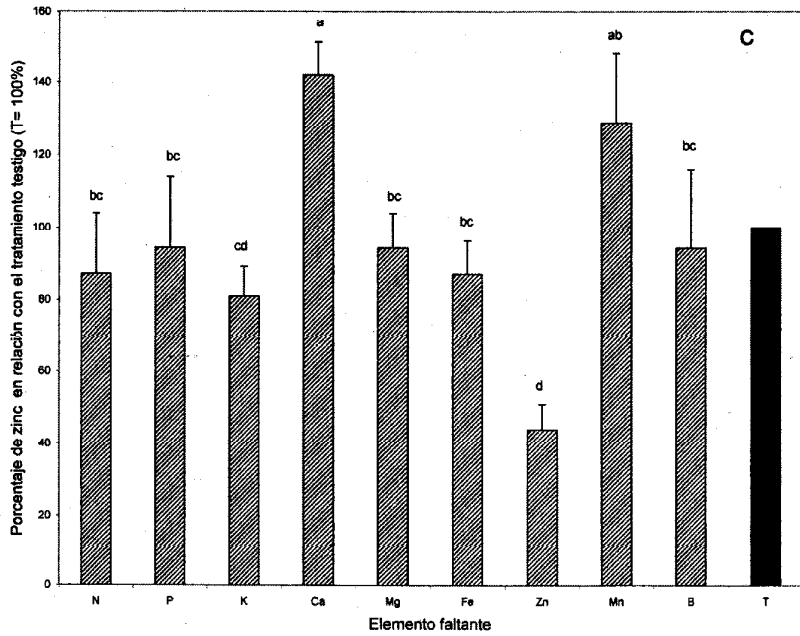
y la menor por aquella correspondiente a la carencia de P (6%), no difiriendo estos valores entre sí (Fig. 11b).

La concentración de Zn aumentó con la deficiencia de Ca y la de Mn (42 y 29% respectivamente). La disminución más importante fue producida por la ausencia del propio nutriente (56%), el cual no difirió de aquel que presentó la carencia de K (19%). Reducciones similares sobre el contenido de Zn fueron provocados por las carencias de N (13%, Fe (13%), P (6%), Mg (6%) y B (6%) (Fig. 11c).

Los mayores aumentos sobre el contenido de Mn fueron producidos por la deficiencia de K (659%) y por la de N (300%), difiriendo dichos valores entre sí. Incrementos menores se presentaron como consecuencia de las deficiencias de Ca y Zn (57 y 51% respectivamente). Tanto el aumento que causó la ausencia de P y de Mg (47 y 38% respectivamente) como la disminución correspondiente a la carencia de B (11%) y de Fe (22%) fueron de una magnitud similar. La mayor disminución fue causada por la inducción de la deficiencia del propio nutriente (97%) (Fig. 11d).

El principal aumento en el nivel de B fue producido por la carencia de K (408%) seguido por las de Mg y Mn (130 y 106% respectivamente). Incrementos menores fueron causados por las deficiencias de N (76%) y de P (37%). El aumento que indujo la deficiencia de Fe (4%) así como la disminución que produjeron las deficiencias de Ca (6%) y de de Zn (19%) no difirió entre sí. La disminución más importante fue causada por la sustracción del propio nutriente (84%) (Fig. 11e).





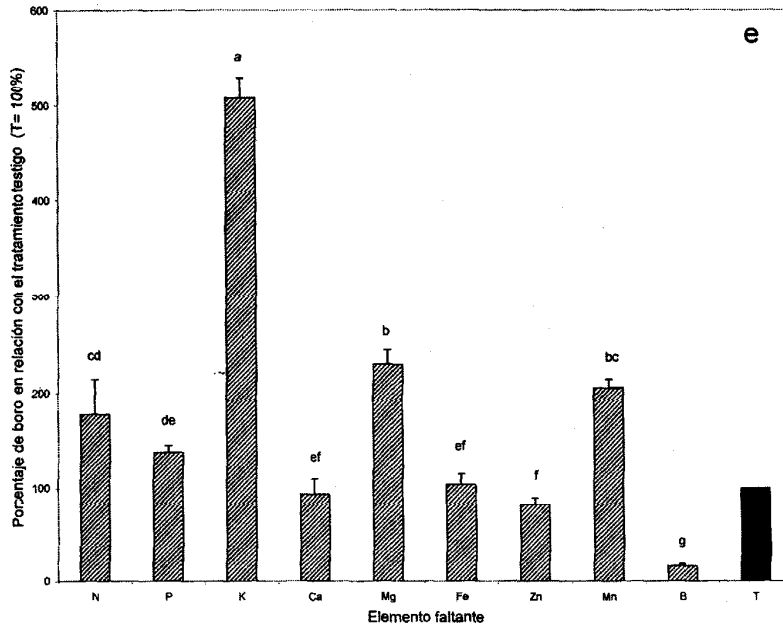


Figura 11. Valores porcentuales de: (a) Fe, (b) Cu, (c) Zn, (d) Mn y (e) B, en relación con el testigo respectivo (testigo= 100%) en plantas de banano sometidas a deficiencia de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn y B (n= 3)

DISCUSIÓN

Los síntomas de la deficiencia de N, P, Ca, Mg, Zn y B manifestados por la planta de banano, concuerdan de manera general con aquellos descritos por Murray (1959), Jordine (1960), Martin-Prevel y Charpentier (1964), Charpentier y Martin-Prevel (1965), Lahav y Turner (1992) y López y Espinoza (1995).

La disminución de N, provoca una menor síntesis de proteínas, dando como consecuencia una disminución en el tamaño de las células y especialmente del ritmo de sus divisiones (Devlin, 1970). Debido a esto, las plantas tienden a atrofiarse, crecen más lentamente y presentan una menor tasa de emisión foliar (Potash and Phosphate Institute: 1988).

De acuerdo con Murray (1960), la defi-

ciencia de N afecta principalmente el nivel de P y de Mg, causando poco efecto sobre el contenido de los restantes macronutrientes. Lo anterior concuerda en forma general con lo encontrado en este trabajo, con excepción del Mg, el cual incrementó su concentración. Esta situación podría estar dada por una modificación de la intensidad en la absorción de Mg, en función de la deficiencia de N, de forma similar a la informada por Wilcox (1993) en tomate. El significativo aumento en los niveles de Mn y B, especialmente del primero de ellos, podría también tener su origen en un efecto diferencial de absorción inducido por la carencia de N.

De acuerdo con Marschner (1986), la carencia de P produce un decrecimiento de la conductividad hidráulica de la raíz, causa del

decrecimiento en el proceso de elongación de las células foliares. El mismo autor indicó que al participar el P en el crecimiento y en el metabolismo, su deficiencia produce una reducción general de estas funciones, incluida la división y elongación celular, respiración y fotosíntesis. Murray (1960), mencionó la existencia de alguna acumulación de N y un considerable incremento de K y Ca, no así de Mg, en condiciones de deficiencia de P. Este resultado difiere del obtenido en este trabajo, al no mostrar los macronutrientos evaluados un cambio importante de sus contenidos. La disminución en la concentración de Fe, única variación importante en relación con los micronutrientos estudiados, fue también mencionada por Lahav y Turner (1992).

Las síntomas producidos por la deficiencia de K, podrían tener su origen en la distribución de la tasa de respiración, cuyo incremento, de acuerdo con Marshner (1986) es una característica de su deficiencia. Esta particularidad es evidente debido al importante papel que éste nutriente juega en la fotosíntesis, particularmente en la regulación estomática. El mismo autor indicó que la elongación de la célula es producto de la acumulación de K en ellas, condición necesaria para la estabilización del pH en el citoplasma y para el incremento en el potencial osmótico de las vacuolas. Su deficiencia, señaló, reduce significativamente la elongación celular, disminuyendo así el tamaño de la célula y por consiguiente el área foliar de la planta. Al igual que lo obtenido por Murray (1959), la deficiencia de K produjo un importante incremento en el contenido de P. En adición a lo anterior, el comportamiento del Ca y del Mg obtenido por dicho autor, fue en términos generales muy similar al obtenido en este trabajo, difiriendo únicamente en función del macronutriente afectado en mayor magnitud. Ello estuvo relacionado para el primer estudio mencionado con el Ca, y pa-

ra el presente trabajo con el Mg. En relación con lo anterior, y de acuerdo con lo mencionado por Soto (1992), los resultados de investigación al respecto difieren en la determinación de cual de los dos cationes antes mencionados presenta un mayor antagonismo en relación al K. El incremento del nivel de Mg en función de la deficiencia de K, similar al encontrado en esta evaluación, puede ser consecuencia (Lahav y Turner, 1992) de que tanto el K como el Mg operen independientemente el uno del otro, o que dicho antagonismo sea debido a: 1- una translocación del Mg hacia frutos u órganos de almacenamiento o reserva favorecida por el K y 2- la dilución de la concentración total de Mg en la planta producto de un estímulo del crecimiento dada por la adición del K. El excesivamente alto contenido de Fe, Mn y B podría estar relacionado con un aumento en la absorción de éstos micronutrientos en asocio con la deficiencia de K, similar a lo mencionado para arroz (Anónimo, 1991; Anónimo, 1992), en donde altos niveles de Fe foliar se relacionan generalmente con bajos niveles de K foliar. A pesar de los altos contenidos presentes de los tres micronutrientos mencionados, los síntomas en la planta correspondieron en todo momento a los de la deficiencia de K.

Los síntomas de la deficiencia de Ca fueron similares a los mencionados por Martin-Prevel y Charpentier (1964), Charpentier y Martin-Prevel (1965), Lahav y Turner (1992) y López y Espinoza (1995). Sin embargo difieren de aquellos indicados por Murray (1959), tanto en su expresión como en su ubicación. De acuerdo con lo observado en el presente trabajo, la expresión de los mismos en las hojas jóvenes y en los ápices en activo crecimiento, probablemente sea a causa de la inmovilidad del Ca de la planta. Su deficiencia hace que las paredes de la célula se vuelvan rígidas y quebradizas (Devlin, 1970). Los tejidos

nuevos necesitan pectato de calcio para la formación de la pared celular, de ahí que su deficiencia ocasione en ellos un visible deterioro (Potash and Phosphate Institute; 1988). La función del Ca en la integridad de la célula se refleja de varias formas. En plantas severamente afectadas se produce una desintegración de las estructuras de la membrana y pérdida de la forma de la célula, con un incremento de los niveles de respiración y de síntesis de proteínas. En órganos con baja transpiración y con altas tasas de crecimiento, existe un incremento en el riesgo de que el Ca disminuya por debajo del nivel crítico requerido para el mantenimiento e integridad de la membrana, produciéndose los síntomas típicos de la carencia de Ca (Marschner, 1986). El comportamiento de incremento en el contenido de P y Mg en relación a la deficiencia de Ca, estuvo de acuerdo con el indicado por Murray (1960), a pesar de diferir en la sintomatología visual. Adicionalmente, un efecto de aumento mucho menos apreciable sobre la concentración de K, también en concordancia con lo indicado por dicho autor, fue también observado. El incremento en el nivel de Fe, Zn y Mn podría deberse a una mayor intensidad en la absorción de los mismos bajo condiciones de deficiencia de Ca.

La deficiencia de Mg presentó manifestaciones generales similares a las indicadas por otros autores (Martin-Prevel y Charpentier (1964), Charpentier y Martin-Prevel (1965), Lahav y Turner (1992) y López y Espinoza (1995). No obstante, a diferencia de éstos y en concordancia con Murray (1959), no se observó la presencia en los peciolos de la coloración azul-púrpura conocida como enfermedad azul. En la mayoría de las descripciones anteriores se indica adicionalmente la incidencia, en el área marginal clorótica, de manchas necróticas foliares, situación también indicada por Marschner (1986) como característica en

la fase aguda de deficiencia. La sintomatología antes descrita está relacionada con el papel del Mg como parte de la molécula de clorofila y a su buena movilidad dentro de la planta (Devlin, 1970). En las células foliares, al menos el 25% de la proteína total se localiza en los cloroplastos, lo que explica porqué la deficiencia de Mg afecta particularmente el tamaño, estructura y función de éstos, incluyendo la transferencia de electrones en el fotosistema II. Contenidos bajos de clorofila en hojas deficientes en Mg son más bien causados por la inhibición de la síntesis de proteína que por la pérdida de Mg para la síntesis de la molécula de clorofila. Independientemente del efecto depresivo sobre los pigmentos del cloroplasto, se produce en éste una acumulación de almidón, la cual es responsable por el incremento en el contenido de materia seca en las hojas de plantas deficientes en Mg (Marschner, 1986). Al igual que lo encontrado por Murray (1960), el P fue el único macronutriente cuya concentración sufrió un aumento importante bajo la influencia de la deficiencia de Mg. Adicionalmente, la poca variación en el resto de los macronutrientes fue concordante, a excepción del decrecimiento que se obtuvo para el Ca, con lo indicado por dicho autor. Los micronutrientes evaluados no fueron mayormente afectados, a excepción del Mn y B, por los bajos contenidos de Mg en la planta.

La falta de síntomas dada por la deficiencia de S, pudo estar relacionada con la adquisición de éste elemento por medio de factores ambientales ajenos al experimento. Ello podría indicar de manera preliminar una alta capacidad de la planta de banano para la obtención de éste.

La disminución en el contenido de clorofila que se observa, de acuerdo con Marschner (1986) bajo la influencia de la deficiencia de Fe, es debida al menos en parte, al deterioro del proceso de síntesis proteica, dando co-

mo resultado una reducción en la formación de cloroplastos. El citado autor añade que lo anterior se refleja por un drástico decrecimiento en el número de ribosomas e incremento de aminoácidos en las hojas con clorosis.

Es una opinión generalizada que los más relevantes síntomas de la deficiencia de Zn (paralización del crecimiento y hoja pequeña), están relacionados con trastornos en el metabolismo de auxinas y en particular en el del ácido indolil-3-acético (AIA) (Marschner, 1986). De acuerdo con ello, el mismo autor manifestó que el contenido de auxinas en los ápices foliares de plantas deficientes en Zn es muy bajo. Adicionalmente, la tasa de síntesis de proteínas, se reduce drásticamente, produciéndose la acumulación de aminoácidos y amidas. El decrecimiento en el contenido de proteínas es asimismo el resultado de un incremento en la tasa de degradación del ARN. Existe una clara e inversa correlación entre el suplemento de Zn y la actividad de la ARNasa y, entre ésta, y el contenido de proteínas. Un incremento en la actividad de la ARNasa es observada casi siempre antes de la aparición de que los síntomas de deficiencia (paralización del crecimiento y cambios en la hoja) se vuelvan aparentes.

La clorosis marginal intervenal de la hoja más joven y las áreas necróticas asociadas con ella, observadas en plantas con deficiencia inducida de Mn, fueron descritas igualmente por Jordine (1960); y por Charpentier y Martin-Prevel (1965). Sin embargo, la incidencia de éste tipo de lesiones y la presencia en ellas de *Deightoniella torulosa*, expresada en dichos trabajos, no fue observada en éste estudio. La expresión visual de síntomas podría estar ligada con la intensidad de la fotosíntesis, ya que de acuerdo con Devlin (1970), existe una pérdida de clorofila y almidón en los cloroplastos, adquiriendo éstos un color verde pálido, para luego, vacuolizar-

se, tomar un aspecto granuloso y al final desintegrarse. Devlin (1970) indicó que la sensibilidad de la clorofila al ser destruida por la luz, aumenta en condiciones de deficiencia de Mn. A pesar de que según Marschner (1986), el Mn pareciera ser un constituyente estructural de los ribosomas, así como activador de la polimerasa del ARN, la síntesis de proteína no resulta afectada en tejidos deficientes. El efecto más severo, de acuerdo este el autor, es producido sobre el nivel de los carbohidratos solubles, el cual es drásticamente reducido, principalmente en las raíces.

Las manifestaciones visuales de la carencia de B podrían ser, de acuerdo con Devlin (1970) expresiones de una carencia de glúcidos, ya que el transporte de éstos hacia las zonas de mayor demanda (regiones de actividad metabólica elevada), es retardado y mucho menos eficiente en plantas con carencia de B. No obstante, Marschner (1986), señaló como dudoso, que el B realice totalmente ésta función, al menos para la sucrosa, el azúcar dominante en el transporte floemático. El mismo autor mencionó que bajo condiciones de deficiencia de B, el contenido de proteína de las hojas jóvenes disminuye, dándose ésta situación a nivel de citoplasma y no de cloroplasto, condición que concuerda con el hecho de que la clorosis no es un síntoma común de la carencia de B. Interpretaciones recientes sobre el papel del B, están basadas en la formación de compuestos estables de borato *cis-diol*. No se ha identificado con seguridad, de acuerdo con Salisbury y Ross (1994), ninguna función específica, pero hay evidencia que señala hacia una participación especial del B en la síntesis de ácidos nucleicos, tan esencial para la división celular en los meristemas apicales. Es fuertemente asumido según Marschner (1986) que las funciones del B apoplástico son en algunos casos similares a las del Ca en cuanto a la regulación de la síntesis y a la se-

gura estabilización de constituyentes de la pared celular, incluida la membrana plasmática. Debido a que el Ca al igual que el B tienen una movilidad restringida y funciones extracelulares, ciertas similitudes en los síntomas visuales de deficiencia, según el anterior autor, podrían esperarse.

Las deficiencias de los micronutrientes Fe, Zn, Mn y B, no causaron en forma general una variación importante en el contenido foliar de los macronutrientes, con excepción de la disminución en la concentración de Ca causada por las carencias de Mn y B. Su efecto sobre el contenido foliar de micronutrientes estuvo dada principalmente por la variación ejercida por su propia deficiencia, y por acción de la deficiencia de Zn sobre los contenidos foliares de Mn y de Mn sobre los contenidos foliares de Fe, Cu y B.

Se espera que con base en la discusión aportada se comprenda mejor la fisiología de la planta del banano para una oportuna toma de decisiones.

LITERATURA CITADA

- ANÓNIMO. 1991. El potasio (K), nutriente esencial de la planta. *Informaciones Agronómicas*. Instituto de la potasa y el Fósforo. Quito, Ecuador. N° 3. p.4.
- ANÓNIMO 1992. Fertilización con potasio reduce la toxicidad de hierro en arroz paddy. *Informaciones Agronómicas*. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Quito, Ecuador. N° 6. p.6.
- CHARPENTIER, J.M.; MARTIN-PREVEL, P. 1965. Carences atténuées ou temporaires en éléments majeurs. Carences en oligo-éléments chez le bananier. *Fruits* 20(10):521-557.
- DEVLIN, R. 1970. *Fisiología Vegetal*. Barcelona, España. Ediciones Omega, S.A. 614p.
- DIAZ-ROMEU, R.; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos y tejidos vegetales e investigación en invernadero. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. Pp. 9-11, 15-27
- HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.L. 1950. The water culture for growing plants without soil. University of California Agricultural Experimental Station. Circular N° 357. 32 p.
- JORDINE, C.B. 1960. Preliminary observations on a manganese deficiency of Lacatán bananas. *Annual Report 1960*. Banana Board.(Jamaica) pp:13-15.
- LAHAV, E; TURNER, W. 1992. Fertilización del banano para rendimientos altos. Segunda edición. *Boletín N° 7*. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Quito, Ecuador. 71p.
- LÓPEZ, A.; ESPINOZA, J. 1995. Manual de nutrición y fertilización del banano. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Quito, Ecuador. 82p.
- MARSCHNER, H. 1986. *Mineral Nutrition of Higher plants*. Academic Press. Orlando, Fl.(EEUU). 674p.
- MARTIN-PREVEL, P; CHARPENTIER, J.M. 1964. Síntomas de carencia de seis elementos minerales en el banano. *Fertilité* 22:15-50.
- MURRAY, D.B. 1960. The effect of deficiencies of the major on growth and leaf

analysis of the banana. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 37:97-106.

MURRAY, D.B. 1959. Deficiency symptoms of the major elements in the banana. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 36:100-106.

POTASH AND PHOSPHATE INSTITUTE; 1988. *Manual de Fertilidad de Suelos*. The Potash and Phosphate Institute. (EEUU). 85p.

SALISBURY, F.; ROSS, C. 1994. *Fisiología Vegetal*. Grupo Editorial Iberoamérica, S. A. de C. V. Mexico, D. F. 759p.

SOLÍS, P.; LÓPEZ, A. 1994. Síntomas de deficiencias minerales en el cultivo del banana. *CORBANA* 19(11):7-14.

SOTO, M. 1992. *Bananos. Cultivo y Comercialización*. 2a ed. San José, Costa Rica. Litografía e Imprenta LIL, S.A. 674p.

WILCOX, G. 1993. Tomato. *In*. W. Bennett ed. *Nutrient Deficiencies and Toxicities in Crop Plants*. APS PRESS. The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota. EEUU. Chapter 13. pp:137-141.