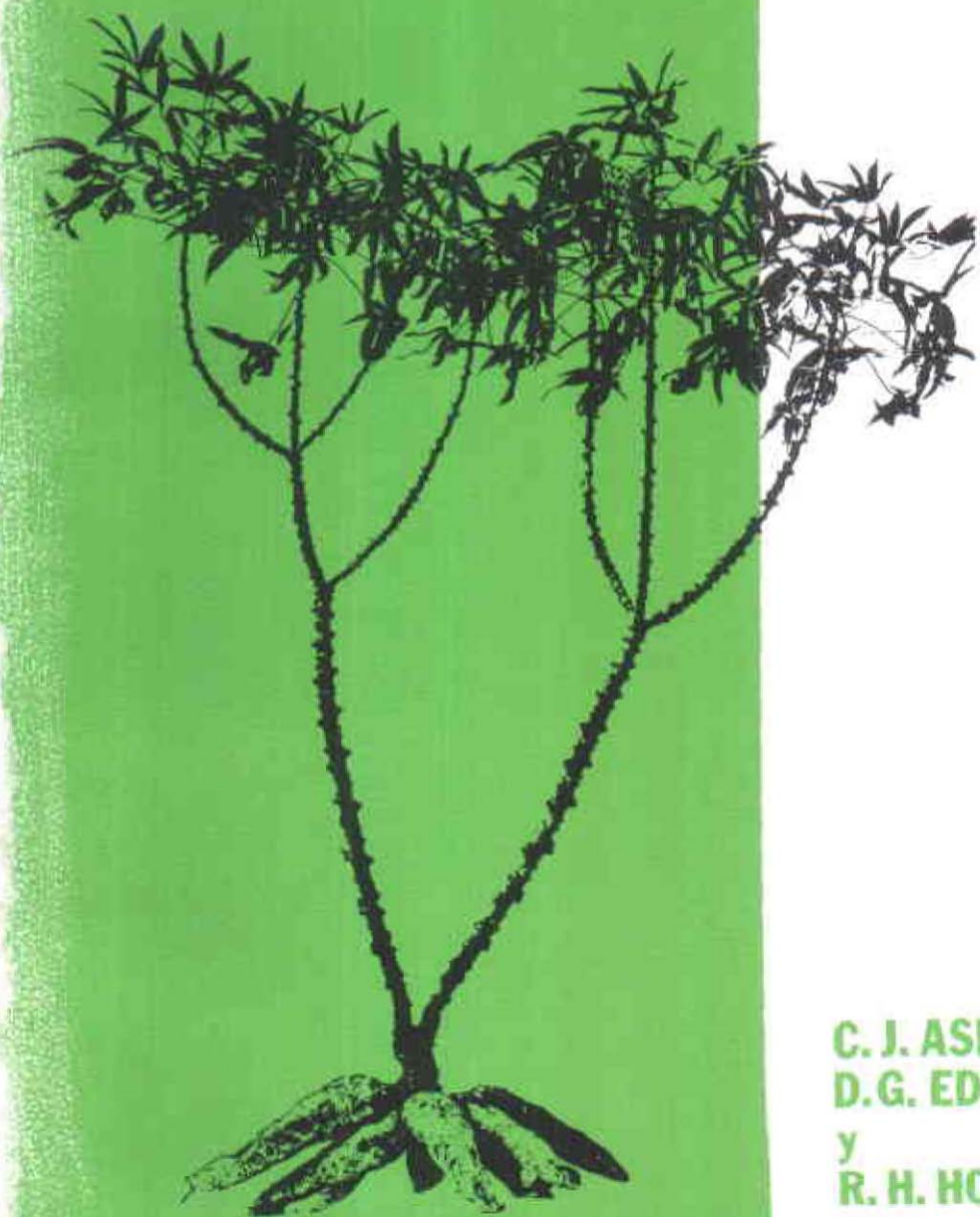


Desórdenes Nutricionales de la Yuca



C. J. ASHER
D. G. EDWARDS
y
R. H. HOWELER

El Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT es una institución sin ánimo de lucro, dedicada al desarrollo agrícola y económico de las zonas bajas tropicales. La sede del CIAT ocupa un terreno de 522 hectáreas, propiedad del Gobierno de Colombia, el cual en su calidad de país anfitrión, brinda apoyo al CIAT en diferentes formas. La sede está situada cerca a la ciudad de Cali y próxima al Aeropuerto Internacional de Palmaseca y la ciudad de Palmira, departamento del Valle. El CIAT realiza trabajo cooperativo con diferentes instituciones nacionales. En Colombia, con el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), especialmente en los Centros Experimentales de Turipaná y Carimagua que tienen condiciones ecológicas diferentes a la sede de Palmira. Varios miembros donantes del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional suministran el respaldo financiero para el desarrollo de los programas del CIAT. Los donantes del año en curso son: la Agencia Estadounidense para el Desarrollo Internacional (USAID), la Fundación Rockefeller, la Fundación Ford, la Fundación W.K. Kellogg, la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional (CIDA), el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF) por medio de la Asociación Internacional de Desarrollo (IDA), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, el Ministerio para el Desarrollo de Ultramar del Reino Unido, y los Gobiernos de Australia, Bélgica, la República Federal de Alemania, Holanda, y Suiza. Además, algunas de estas entidades, y el Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo del Canadá (IDRC) financian proyectos especiales. La información y conclusiones contenidas en esta publicación no reflejan necesariamente la posición de ninguna de las instituciones, fundaciones o gobiernos mencionados.

Esta publicación fue financiada por el Centro de Información sobre Yuca del CIAT, un proyecto especial con fondos conjuntos del CIID (Proyecto de Información sobre Yuca - Fase II) y el presupuesto general del CIAT.

Desórdenes Nutricionales de la Yuca

(Manihot esculenta Crantz)

por

C.J. ASHER y D.G. EDWARDS

Department of Agriculture, University of Queensland,
St. Lucia, Qld. 4067, Australia

y

R.H. HOWLER

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT),
Apartado Aéreo 67-13, Cali, Colombia

55131

Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT
Apartado 6713
Cali, Colombia

ISBN 84-89206-03-1
Serie CIAT No. 09SC-3
Enero 1980

Cita correcta:

ASHER, C.J., EDWARDS, D.G. y HOWELER, R.H. Desórdenes nutricionales de la yuca. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. 1980. 48 p.
La versión en inglés está disponible en la Universidad de Queensland, Australia.

Manihot esculenta/Yuca/Investigación/Experimentos de campo/Experimentos de laboratorio/Requerimientos climáticos/Cultivo Requerimientos nutricionales/Cultivares/Soluciones nutritivas/Desarrollo de la planta/Hojas/Sintomatología/Análisis foliar/Deficiencias nutricionales/N P K Mn/Z Ca/B/Fe/Zn/Cu/Toxicidades/Mn/Al/B/Cu/Ni/Salinidad-alcalinidad/Productividad de tubérculos.

Tiraje: 2.000 ejemplares

Contenido

Prefacio	4
Introducción	5
Condiciones óptimas para la producción de yuca	5
Requerimiento nutricional cuantitativo de la yuca	7
Diagnóstico de problemas nutricionales	8
Importancia de la posición de la hoja para el diagnóstico visual	9
Desórdenes que producen síntomas principalmente en las hojas más viejas	
Deficiencia de nitrógeno	11
Deficiencia de fósforo	12
Deficiencia de potasio	17
Deficiencia de magnesio	18
Toxicidad de manganeso	22
Toxicidad de aluminio	24
Toxicidad de boro	26
Desórdenes que producen síntomas ya sea en las hojas superiores o inferiores	
Deficiencia de azufre	28
Desórdenes que producen síntomas principalmente en las hojas más jóvenes	
Deficiencia de calcio	30
Deficiencia de boro	32
Deficiencia de hierro	34
Deficiencia de manganeso	36
Deficiencia de zinc	38
Deficiencia de cobre	40
Toxicidad de metales pesados	42
Salinidad y alcalinidad	44
Referencias	46
Agradecimientos	Interior de la contraportada

Prefacio

La yuca como cultivo alimenticio figura actualmente en el sexto lugar de importancia a nivel mundial en cuanto a producción se refiere, y solamente los principales cereales la superan. Menospreciada, y aún denigrada en el pasado, su cultivo fue desatendido por las ciencias agrícolas durante muchos años. Tal falta de atención por parte de los científicos se debe a que la yuca tiene bajo status como cultivo alimenticio, siendo un cultivo de subsistencia, sembrado por agricultores pequeños y marginados.

Durante la última década se ha experimentado un gran cambio en el status de la yuca, así como en la cantidad de investigaciones que se dedican a este cultivo. Un impresionante número de instituciones nacionales e internacionales han iniciado importantes programas de investigación, cuyos frutos ya se están comenzando a ver, tanto en el impacto que han tenido en el cultivo como en los sistemas de producción utilizados.

Este folleto es un producto significativo de investigaciones recientes. Se presenta información diagnóstica sobre la nutrición de la yuca, incluyendo síntomas visuales de deficiencias de elementos nutritivos específicos. Las excelentes fotografías, junto con una revisión del estado de conocimiento de cada elemento mayor y menor, hacen de él una importante obra de referencia para agrónomos dedicados a actividades educativas o de investigación.

Donald L. Plucknett
Presidente,
International Society for
Tropical Root Crops

Introducción

La yuca es una raíz que se cultiva extensivamente en los trópicos bajos, donde se estima, sirve de alimento básico a más de 200 millones de personas (Coursey y Halliday, 1974). Mucho de la yuca se cultiva en sistemas de subsistencia en los que no se emplean fertilizantes químicos. Se ha comprobado que la yuca produce cantidades pequeñas pero aceptables de hidratos de carbono comestibles en suelos demasiado pobres para sembrar en ellos otros alimentos básicos. Además, parece ser más tolerante a la sequía que muchos otros cultivos (Cock y Howeler, 1978). A menudo, se siembra la yuca en sistemas de agricultura migratorios para extraer la poca fertilidad del suelo que han dejado los otros cultivos antes de que la tierra vuelva a convertirse en barbecho arbustivo. Además de las raíces amiláceas de bajo contenido proteínico, las hojas, las cuales tienen un alto contenido proteínico, son consumidas algunas veces por los humanos o se utilizan para el ganado.

Durante las últimas dos décadas se ha reconocido el valor de las raíces de yuca como una fuente energética de bajo costo para las raciones de los animales y se ha desarrollado un amplio comercio internacional de trozos de yuca seca y de comprimidos entre algunos países tropicales y de clima templado que poseen industrias pecuarias intensivas. Más recientemente, ha aumentado el interés en la yuca como fuente de almidón industrial y como materia prima para la producción de alcohol combustible (McCann y Prince, 1978; Evenson y Keating, 1978; Smythe, 1978). El cultivo eficiente a gran escala para tales propósitos industriales requerirá un mayor nivel de insumos del acostumbrado para gran parte de la producción de yuca en el mundo y podría ser necesario seleccionar cultivares de alto rendimiento para sistemas agrícolas intensivos mecanizados.

Condiciones óptimas para la producción de yuca

La yuca se puede cultivar bajo una amplia gama de condiciones climáticas y edáficas. Evenson y Keating (1978) sugirieron que las temperaturas del suelo deberían ser superiores a 18° C, y De Boer y Forno (1975) consideraron que una precipitación anual de 1000 mm era el límite mínimo para la producción de yuca. Sin embargo, también se puede cultivar con precipitaciones anuales mucho menores, siempre y cuando la humedad del suelo sea suficiente durante los primeros dos meses después de la siembra. En general, se recomienda sembrarla en suelos franco-arenosos o franco-arcillosos bien drenados, ya que no tolera un exceso de agua. No obstante, se han podido obtener rendimientos muy altos (80 t/ha/año) en suelos aluviales sumamente fértiles y pesados (más del 50% de arcilla) en el Valle del Cauca en Colombia (CIAT, 1978). Aparentemente, la yuca tiene poco futuro en estos suelos pesados porque ellos se utilizan principalmente para producir cultivos que resultan más rentables. Por otra parte, es más fácil cosecharla en suelos de textura más liviana. Donde su cultivo está mecanizado, la tierra debe estar bastante nivelada (menos de 16% pendiente) y libre de áreas pantanosas durante los meses de siembra y de cosecha para facilitar el desplazamiento de la maquinaria. Incluso cuando se cultiva manualmente, la yuca no debería sembrarse en terrenos muy pendientes, ya que al extraer las raíces, el suelo queda altamente erosionable.

Normanha (1961) afirmó que la yuca se desarrolla mejor en suelos con un pH entre 6

y 7. Sin embargo, Islam *et al.* (1980) encontraron que la producción de materia seca total de la planta era mayor de 90% con relación al máximo cuando el rango de pH era de aproximadamente 5 a 7,5 en solución nutritiva fluyente (Fig. 1a). La yuca también toleró mejor los pH bajos que otros cultivos y logró rendimientos relativamente más altos a un pH entre 3,3 y 4,0 en un suelo de turba ácido, bajo en aluminio, en Malasia. Lim *et al.* (1973) encontraron que, a diferencia del maíz y del maíz, el cv. de yuca Black Twig sobrevivió a un pH de 3,2 (medido en agua) y obtuvo un rendimiento de raíces igual al 17% del que se logró cuando el pH del suelo se aumentó a 4,6 mediante el encalamiento. En suelos minerales, la yuca también ha demostrado ser altamente tolerante a la acidez, y los rendimientos disminuyen muy poco o nada cuando el pH del suelo es tan bajo como 4,3 (Spain *et al.*, 1975; Howeler *et al.*, 1977; Edwards y Kang, 1978). No obstante, algunos cultivares han presentado mayores reducciones en rendimiento cuando el pH es inferior a 4,5 en el suelo (Fig. 1b) que en solución nutritiva (Fig. 1a). La mayor sensibilidad de la yuca al bajo pH del suelo puede asociarse con toxicidades de aluminio o manganeso y deficiencias de calcio, fósforo o molibdeno. Los rendimientos de la yuca también pueden disminuir más drásticamente cuando el pH del suelo es superior a 8 (Fig. 1c) que en solución nutritiva debido a un complejo de problemas relacionados con el pH que incluyen salinidad, drenaje deficiente y baja disponibilidad de boro, hierro, manganeso, cobre o zinc.

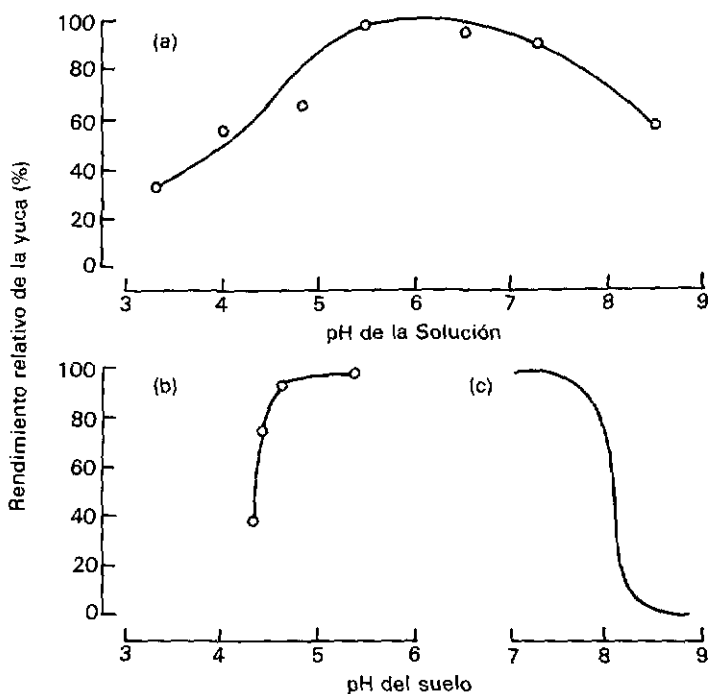


Figura 1. Efecto del pH en el crecimiento de la yuca: a) producción total de materia seca de plantas de 4 semanas de edad del cv. Nina cultivado en solución nutritiva fluyente (Islam *et al.*, 1979); b) rendimiento promedio de raíces de 42 cultivares de yuca cultivados en un suelo ácido en Carimagua, Colombia (CIAT, 1978); c) rendimiento promedio de raíces de 3 cultivares de yuca en un suelo alcalino en el CIAT, Colombia (CIAT, 1976).

Requerimiento nutricional cuantitativo de la yuca

Hasta hace poco la nutrición mineral de la yuca no había sido objeto de una investigación científica intensiva o detallada. Si bien parece razonable asumir que la yuca requiere los mismos elementos nutrientes que los otros cultivos intensamente estudiados, hasta ahora no se han descrito los síntomas de deficiencia de cloro y molibdeno, aunque se han registrado respuestas significativas al molibdeno en el campo (Cours *et al.*, 1961; CTCRI, 1972, 1973, 1974). Los síntomas de deficiencia de boro se han inducido bajo condiciones experimentales controladas (Forno *et al.*, 1979) y se han obtenido respuestas significativas al boro en ensayos de campo recientes en el sur de India (CTCRI, 1973).

Las cantidades totales requeridas de cada nutrimento para cualquier cultivo dependen de dos factores: 1) el nivel de rendimiento, y 2) la concentración promedio del elemento en toda la planta que se requiere para producir ese rendimiento. Bajo condiciones favorables de crecimiento, es de esperarse que la yuca produzca aproximadamente 18 t de materia seca total/ha durante los primeros 12 meses de crecimiento. Este nivel de productividad corresponde aproximadamente a un rendimiento de 30 t de raíces frescas/ha. Es posible obtener rendimientos más altos pero éstos rara vez se logran bajo condiciones normales de finca.

Howeler (1978) ha indicado los valores aproximados de absorción de nutrimentos calculados con base en la literatura. El Cuadro 1 muestra valores similares de absorción de nutrimentos calculados con base en la distribución de materia seca y en las concentraciones de nutrimentos en diversos órganos de la planta. El requerimiento relativamente grande de potasio es evidente ya que se extraen 76 kg/ha en una cosecha de 30 t de raíces/ha. Si se remueve del campo también la parte aérea de la planta en la cosecha, la cantidad de potasio extraída es más del doble, lo que hace que disminuyan más las reservas de potasio del suelo.

Aunque los requerimientos de micronutrimentos son mucho menores que los de macronutrimentos, el suministro de micronutrimentos puede ser sumamente importante bajo condiciones de campo. Por ejemplo, Chew *et al.* (1978) encontraron síntomas de deficiencia de cobre en cultivos de yuca en suelos de turba en Malasia y se han obtenido respuestas significativas a fertilización con cobre en suelos lateríticos en el sur de India (CTCRI, 1973, 1974). En yuca cultivada en tres localidades muy diferentes del norte de Australia, se observaron síntomas agudos de deficiencia de zinc, y se han registrado respuestas significativas a fertilización con zinc en el sur de India (CTCRI, 1972, 1973, 1974). El enclamiento de suelos ácidos tropicales en Colombia (Howeler *et al.*, 1977) y Nigeria (Edwards y Kang, 1978) indujo fácilmente una deficiencia aguda de zinc en la yuca.

Donde el suelo no provee todos los nutrimentos minerales en cantidades adecuadas, es necesario suministrar los elementos limitantes por medio de fuentes externas como fertilizantes químicos, desperdicios orgánicos o residuos vegetales. Para hacer un uso eficiente de estos materiales, es esencial identificar los elementos limitantes en cada localidad, y aplicar la fuente efectiva más barata para cada elemento limitante a fin de corregir el problema. En este sentido, un fertilizante "balanceado" es aquel que contiene cantidades adecuadas pero no excesivas de cada elemento deficiente. Como más del 50% de la cantidad total de nutrimentos de la planta de yuca se encuentra en la parte aérea, el regreso de éstos al suelo puede disminuir sustancialmente la tasa de

Cuadro 1. Cantidades aproximadas de cada nutrimento que se requieren para producir 30 t de raíces de yuca /ha

Elemento	Concentración*				Cantidades totales**				
	(%)				(kg)				
(a)									
Macronutrientos	Raíces	Tallos	Hojas	Pecíolos	Raíces	Tallos	Hojas	Pecíolos	Total
Potasio	0,73	1,69	1,20	2,35	76	76	23	25	200
Nitrógeno	0,36	0,66	4,18	1,43	38	30	81	15	164
Calcio	0,09	0,63	0,99	2,31	9	28	19	24	80
Fósforo	0,10	0,34	0,26	0,14	10	15	5	1	31
Magnesio	0,09	0,23	0,39	0,49	9	10	7	5	31
Azufre	0,06	-	0,31	0,14	6	-	6	1	-
(b)									
Micronutrientos	Concentración tomando la planta completa								
	(µg/g)*								
Hierro	200				3,60				
Manganeso	75				1,35				
Zinc	75				1,35				
Boro	25				0,45				
Cobre	8				0,14				

* Concentraciones promedio obtenidas de los informes de la literatura (Howeler, 1978).

** Calculadas con base en los siguientes supuestos:

	Raíces	Tallos	Láminas foliares	Pecíolos
Distribución de materia fresca (%)	50	30	13	7
Porcentaje de materia seca	35	25	25	25

absorción de nutrimentos de un campo y, por consiguiente, el costo de la fertilización a largo plazo.

Diagnóstico de problemas nutricionales

El diagnóstico acertado es esencial para poder manejar eficazmente los problemas nutricionales. Los síntomas visuales de las deficiencias de nutrimentos y toxicidades juegan a menudo un papel importante en el diagnóstico bajo condiciones de campo, y el método visual tiene la ventaja de que no depende directamente de equipo costoso o de servicios de laboratorio. No obstante, como los diferentes desórdenes nutricionales pueden producir algunas veces síntomas visuales bastante similares, es aconsejable confirmar el diagnóstico por medio del análisis del tejido vegetal, del suelo, o ambos. Desafortunadamente, los síntomas claramente reconocibles en la yuca generalmente sólo están asociados con desórdenes nutricionales bastante severos. Las condiciones menos agudas pueden dar como resultado reducciones sustanciales en el vigor y en el rendimiento del cultivo sin que se presenten síntomas específicos. Nuevamente en este caso, los análisis de suelo y de la planta pueden ser una gran ayuda para hacer un diagnóstico correcto.

Este folleto se concentra principalmente en los síntomas visuales de las deficiencias de nutrimentos y toxicidades. Sin embargo, siempre que haya información disponible complementaria sobre análisis de suelo y de la planta, se ha incluido como una ayuda más para el diagnóstico. Esta información generalmente se suministra en términos de

concentraciones críticas. La concentración crítica en el caso de la deficiencia de un elemento se define como aquella concentración (en el suelo o en el tejido vegetal) por debajo de la cual la aplicación de dicho elemento generalmente aumentará los rendimientos, y por encima de la cual no debe esperarse ningún incremento. Igualmente, la concentración crítica para la toxicidad es aquella por encima de la cual debe esperarse una reducción en el rendimiento. Este folleto indica las concentraciones críticas que se han determinado para el suelo y el tejido vegetal. Algunas de estas provienen de experimentos de cultivos en maceta en el invernadero. Como un trabajo reciente de Spear *et al.* (1978a) ha demostrado que los valores obtenidos dependen hasta cierto punto de detalles de la técnica tales como el tamaño de la maceta escogida, probablemente será necesario verificar dichos valores observando el comportamiento de las plantas bajo condiciones de campo. Por otra parte, como las concentraciones críticas en el tejido de la planta pueden variar de acuerdo con el cultivar, la edad de la planta, las condiciones climáticas y otros factores (Ulrich y Hills, 1967; Bates, 1971), el muestreo del tejido vegetal debe estandarizarse tanto como sea posible. Recomendamos tomar las hojas más jóvenes totalmente expandidas y analizar ya sea las láminas foliares o los pecíolos, por ser éstas los mejores indicadores del estado nutricional de la planta. Las concentraciones de nutrimentos en las láminas foliares se presentan en el Cuadro 2. Las muestras foliares generalmente se toman cuando las plantas tienen de tres a cuatro meses de edad o cuando comienzan a crecer vigorosamente después de un periodo seco o frío prolongado. El muestreo durante los periodos de crecimiento lento debido a causas no nutricionales no es recomendable.

Cuadro 2. Concentración de nutrimentos en las láminas foliares más jóvenes totalmente expandidas de plantas de yuca de 2-5 meses de edad (Howeler, 1978).

Elemento	Estado nutricional			
	Deficiente	Nivel crítico	Normal	Tóxico
	(%)	(%)	(%)	
Nitrógeno	< 4,5	5,7	5,0 - 6,0	
Potasio	< 1,0		1,2 - 2,0	
Calcio	< 0,5		0,6 - 1,5	
Fósforo	< 0,2	0,4	0,3 - 0,5	
Magnesio	< 0,2		0,25 - 0,5	
Azufre	< 0,3	0,32	0,3 - 0,4	
	(µg/g)	(µg/g)	(µg/g)	(µg/g)
Hierro	< 50		60 - 200	> 250
Manganeso	< 50		50 - 250	> 1000
Zinc	< 35	35-50	40 - 100	
Boro	< 15		15 - 50	> 140
Cobre			7 - 15	

Este folleto indica también cómo corregir los diferentes problemas nutricionales que pueden presentarse en la yuca en el campo. Como los suelos difieren mucho en cuanto a sus características físicas y químicas, sólo se pueden proporcionar unas pautas generales sobre el uso de fertilizantes y enmiendas del suelo. Recomendaciones más precisas de fertilización únicamente se pueden hacer con base en la experiencia local con el cultivo y los análisis de suelo y de tejido de la planta.

Importancia de la posición de la hoja para el diagnóstico visual

Los patrones normales de distribución y redistribución de nutrimentos minerales

dentro de la planta hacen que los síntomas de desórdenes nutricionales ocurran en posiciones específicas de la planta. Por consiguiente, además de observar la apariencia de las hojas afectadas en las plantas enfermas, debería observarse cuidadosamente la localización de dichas hojas.

Los nutrimentos minerales absorbidos por el sistema radical tienden a ser distribuidos entre las diferentes partes aéreas de la planta, siguiendo un patrón que se asemeja al de la pérdida de agua debido a la transpiración. Es decir, que las hojas totalmente expandidas que presentan una superficie de evaporación grande con relación a su volumen, tienden a recibir una cantidad mucho mayor de agua y de los nutrimentos minerales que absorben la planta, que el fruto u hojas inmaduras totalmente enrolladas en los ápices del cogollo. Cuando la solución del suelo contiene concentraciones de un elemento mineral superiores a las óptimas, el exceso tiende a acumularse en las hojas. Las hojas más viejas tienen concentraciones más altas, ya que es en ellas donde la acumulación ha tenido lugar durante un período más largo de tiempo. Por lo tanto, es de esperarse que los síntomas de toxicidad se observen primero y en forma más acentuada en las hojas más viejas. Esto es lo que sucede normalmente, pero cuando el exceso de un elemento reduce la absorción de un segundo elemento o interfiere con su utilización en los tejidos de la planta, los síntomas principales pueden ser los de deficiencia del segundo elemento. En este caso, la localización de los síntomas será la que caracteriza los de deficiencia del segundo elemento que pueden o no estar localizados en las hojas más viejas.

En condiciones de deficiencia, la mayoría de las plantas tienden a retirar elementos como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, azufre, sodio y cloro que se encuentran en las hojas más viejas, y redistribuirlos entre los órganos jóvenes de la planta que están en crecimiento activo. Como la redistribución de estos elementos se efectúa a través del sistema de transporte del floema, dichos elementos se conocen como *movibles por el floema*. En general, se espera que los primeros y más obvios síntomas de deficiencia de elementos movibles por el floema se presentan en las hojas más viejas (las inferiores). Este es el patrón de desarrollo de los síntomas que se observa generalmente en la yuca, aunque la movilidad en el floema de nitrógeno y azufre parece ser menor que en muchos otros cultivos.

El calcio y el boro no se redistribuyen en mayor grado cuando hay condiciones de deficiencia y, por consiguiente, se conocen como elementos *inmovibles por el floema*. En el caso de estos elementos, la planta debe recibir un suministro externo permanente para que pueda desarrollarse sin problemas, y si éste llegara a interrumpirse, las partes jóvenes de la planta en crecimiento activo, incluyendo los ápices radicales, desarrollarían síntomas de deficiencia.

Los demás elementos esenciales tienen una movilidad intermedia a través del floema y generalmente muestran síntomas de deficiencia en las partes más jóvenes. Sin embargo, cuando el suministro de uno de estos elementos ha variado ampliamente durante la estación de crecimiento, se pueden encontrar síntomas de deficiencia en hojas formadas durante un período de deficiencia, con hojas sanas tanto arriba como abajo. Esto sucede con la deficiencia de manganeso en algunos suelos. La movilidad del azufre a través del floema parece ser más baja en algunos cultivos que la de otros elementos movibles por el floema, por lo tanto, tal vez debería clasificarse como de movilidad intermedia.

Desórdenes que producen síntomas principalmente en las hojas más viejas

1. Deficiencia de nitrógeno

En la mayoría de los cultivos, los síntomas de deficiencia de nitrógeno se manifiestan primero en las hojas más viejas y se extienden progresivamente a las hojas más jóvenes hasta que toda la planta se vuelve clorótica. Krochmal y Samuels (1968) registraron este patrón de desarrollo de síntomas en el cv. Fowl Fat. La clorosis general se ha observado tanto en yuca cultivada en el suelo (Foto 1a) como en cultivo en solución nutritiva (Foto 1b). Sin embargo, en la Universidad de Queensland (Lee, 1973) se observó que en muchos cultivares, las hojas más viejas que ya existían en las plántulas antes de transferirlas a una solución deficiente en nitrógeno eran menos susceptibles a la clorosis que las que se formaron posteriormente (Foto 1c). Esto sugiere que hay poca translocación de nitrógeno a partir de estas hojas más viejas. Bajo condiciones de deficiencia severa de nitrógeno en el campo, las plantas se vuelven enanas y raquílicas (Foto 1d) con hojas inferiores cloróticas. La clorosis no avanza hacia adentro a partir de los ápices y márgenes foliares como sucede con muchos otros desórdenes nutricionales; en cambio, la hoja entera se vuelve clorótica prácticamente al mismo tiempo. Una inspección detallada de estas hojas muestra que la nervadura retiene algo del color verde, lo que hace que las hojas tengan un leve tinte verdoso. Las hojas superiores de la planta serán mucho más pálidas de lo normal. Tres características permiten diferenciar la deficiencia de nitrógeno de la de fósforo, el cual también ocasiona enanismo de la planta y clorosis de las hojas inferiores. En primer lugar, las hojas inferiores deficientes en nitrógeno generalmente conservan su turgencia durante un período considerable después de haberse vuelto cloróticas, mientras que las hojas inferiores cloróticas de plantas deficientes en fósforo tienden a colgar flácidamente de los pecíolos. Segundo, el color de la nervadura de las hojas cloróticas de plantas deficientes en fósforo tiende a ser el mismo del resto de la hoja, o sea que la hoja es amarilla más bien que amarilla verdosa. Tercero, las hojas superiores de estas plantas deficientes en fósforo tienden a ser de un verde mucho más oscuro que las de las plantas deficientes en nitrógeno. Como los síntomas de las plantas con deficiencias moderadas de nitrógeno no siempre son claramente reconocibles, a excepción de la disminución en la tasa de crecimiento, la ausencia de síntomas específicos no significa necesariamente que la cantidad de nitrógeno sea adecuada.

En experimentos llevados a cabo en soluciones nutritivas fluyentes mantenidas a diversas concentraciones constantes de nitrógeno, la yuca mostró únicamente síntomas foliares leves cuando las concentraciones de nitrógeno fueron sumamente bajas (menos de $1 \mu M$), mientras que éstas ocasionaron síntomas marcados en maíz, sorgo, algodón y girasol (Forno, 1977). A una concentración de $0,4 \mu M$ de nitrógeno en forma de nitrato, los rendimientos de sorgo, maíz y girasol fueron de 5, 7 y 9% del máximo, respectivamente, mientras que 11 cultivares de yuca alcanzaron un rendimiento promedio de 40% con relación al máximo a la misma concentración (Edwards *et al.*, 1977). Por consiguiente, la yuca parece tolerar mejor la deficiencia de nitrógeno que la mayoría de los cultivos, aunque se han encontrado grandes diferencias entre cultivares. En experimentos con cultivos en solución se obtuvo un crecimiento máximo de 11 cultivares de yuca con concentraciones de la solución de nitrato de 3.400 a $4.450 \mu M$, o con concentraciones de la solución de amonio de 26 a

420 μ M. Para lograr un crecimiento máximo del sorgo, maíz y girasol, se necesitaron concentraciones similares. Sin embargo, para obtener un rendimiento máximo de las raíces de yuca, se puede utilizar una concentración un poco más baja de nitrógeno, ya que se ha encontrado que el crecimiento excesivo de la parte aérea asociado con un suministro alto de nitrógeno, frecuentemente reduce los rendimientos de las raíces (CIAT, 1978).

Los contenidos normales de nitrógeno en las hojas superiores a los tres o cinco meses después de la siembra fluctúan entre 5 y 6%, y la concentración crítica determinada es de 5,7% (Howeler, 1978). Los peciolos contienen normalmente entre 1 y 2% de nitrógeno, mientras que los tallos y las raíces tienen una cantidad sumamente baja de este elemento que oscila entre 0,25 y 1% (Cuadro 1).

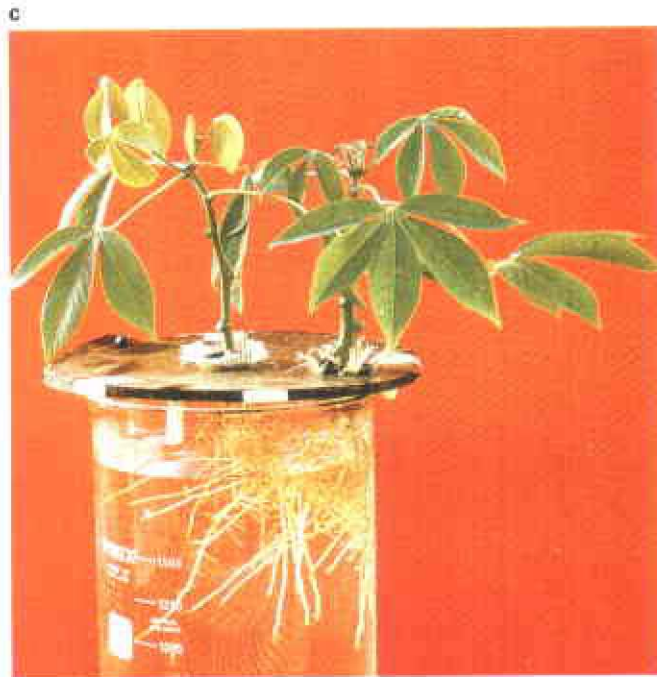
La deficiencia de nitrógeno se espera en suelos arenosos y en suelos ácidos como Oxisoles y Ultisoles. Aunque se ha efectuado poco trabajo sobre los efectos de la rotación de cultivos en la nutrición de la yuca, observaciones de campo sugieren que es mucho más probable que se presente deficiencia de nitrógeno cuando se siembra yuca a continuación de maíz que después de una leguminosa como el frijol. Por consiguiente, los costos de la fertilización nitrogenada pueden disminuir sustancialmente incluyendo las leguminosas apropiadas en el sistema de rotación. Se han llevado a cabo algunos experimentos interesantes sobre el cultivo de yuca en asociación con leguminosas (CTCRI, 1975), pero no se han determinado los posibles efectos sobre nutrición de nitrógeno del cultivo.

Ngongi (1976) observó que las aplicaciones moderadas de nitrógeno (50-100 kg N/ha) incrementaban significativamente los rendimientos, mientras que las aplicaciones más altas los reducían, por cuanto aumentaban el crecimiento de la parte aérea a costo del crecimiento radical. Esto parece ser el caso especialmente de los cultivares más vigorosos. Las aplicaciones de nitrógeno deben efectuarse en el momento de la siembra o poco después y repetirse dos o tres meses después o cuando las plantas comiencen a crecer vigorosamente después de un período seco o frío. Las aplicaciones de fertilizantes al suelo no son factibles cuando el follaje ha cubierto totalmente la superficie del suelo. No se han encontrado diferencias significativas entre las diversas fuentes de nitrógeno como urea, sulfato de amonio, nitrato cálcico o nitrato sódico (Samuels, 1970) cuando se aplican a tasas iguales de nitrógeno.

2. Deficiencia de fósforo

La deficiencia de fósforo puede reducir sustancialmente el crecimiento de la yuca sin que se presenten síntomas claramente reconocibles (Fotos 2a, b, c). Por lo tanto, las deficiencias leves sólo se puedan diagnosticar mediante análisis de la planta, análisis del suelo o experimentación en el campo. Las hojas de algunos cultivares normalmente

Foto 1. Deficiencia de nitrógeno. a) Plantas del cv. de yuca CMC 40 con bajo (izquierda) y alto (derecha) nivel de nitrógeno. b) Respuesta de la yuca al nitrógeno en solución nutritiva. Observe el color saludable de la planta de la derecha con un alto contenido de nitrógeno, y el color pálido de las plantas con deficiencia de nitrógeno en el centro y a la izquierda. c) Plántula enraizada del cv. Mameya, cultivado en solución nutritiva con deficiencia de nitrógeno. Observe la distribución anormal de los síntomas para un elemento móvil a través del floema. d) Respuesta del campo del cv. M Mex 59 al nitrógeno. Las plantas al frente muestran una disminución sustancial del crecimiento en comparación con las plantas con alto contenido de nitrógeno de la parte posterior de la foto.

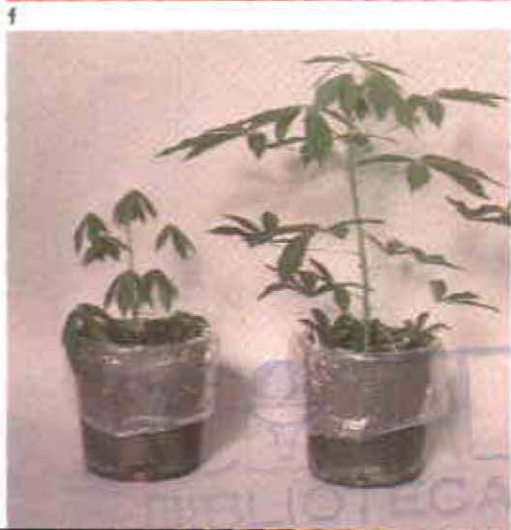
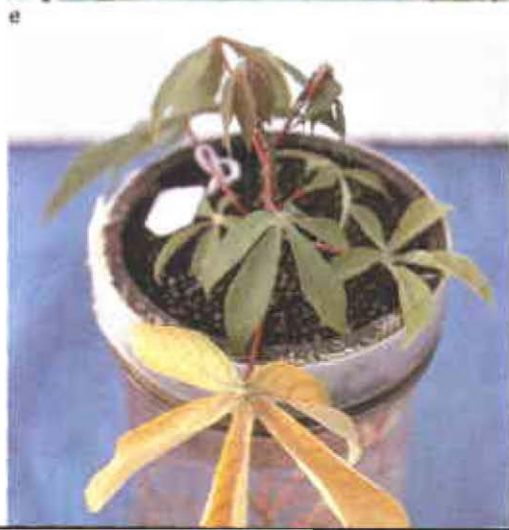
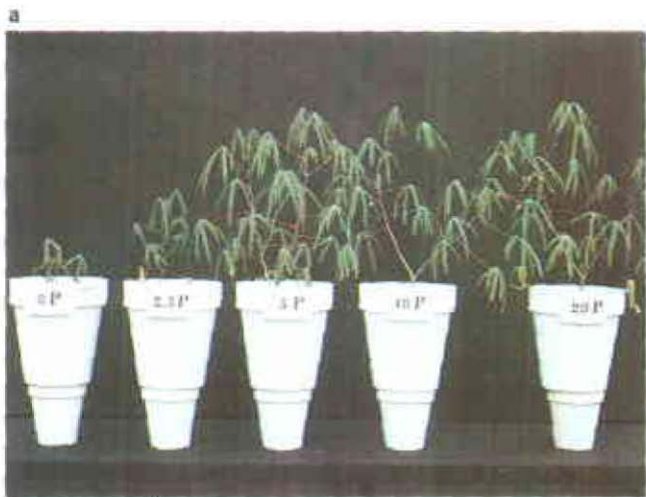


son descolgadas (Foto 2a), pero las de otros sólo se descuelgan cuando las plantas tienen una deficiencia muy marcada de fósforo (Foto 2f). Sin embargo, el síntoma más notable de deficiencia aguda de fósforo que se puede reconocer fácilmente en el campo es la clorosis uniforme que desarrollan las hojas inferiores (Fotos 2d, e), las cuales pueden descolgarse flácidamente de los peciolos (Foto 2e). A diferencia de la deficiencia de nitrógeno, las nervaduras secundarias y a menudo las principales de las hojas inferiores tienden a ser del mismo color amarillo que el tejido intervenal. Algunas veces, los márgenes foliares laterales de las hojas cloróticas inferiores se enroscan hacia arriba antes de que éstas se descuelguen por completo (Foto 2e). Frecuentemente, las áreas intervenales adyacentes al punto de unión con el peciolo retienen algo de su color verdoso, y las nervaduras principales pueden permanecer verdes durante algún tiempo (Fotos 2d, e). Las hojas afectadas de algunos cultivares se vuelven púrpuras en lugar de amarillas. Con el tiempo, las hojas afectadas se secan y se caen de la planta. Las plantas con deficiencias marcadas de fósforo con frecuencia tienen tallos delgados, peciolos cortos, lóbulos foliares angostos y un número menor de lóbulos por hoja. No obstante, a diferencia de las plantas deficientes en nitrógeno, las hojas superiores tienden a retener un color saludable, verde o púrpura verdoso, y sólo unas pocas hojas inferiores se vuelven cloróticas.

Las concentraciones normales de fósforo de las hojas superiores totalmente expandidas fluctúan de 0,3 a 0,5% y se ha determinado una concentración crítica de 0,44% (Howeler, 1978); los peciolos de las hojas superiores normalmente contienen 0,12 a 0,20% P en tanto que las raíces sólo contienen 0,08 a 0,12% (Cuadro 1). Se ha observado que la yuca no desarrolla síntomas de deficiencia de fósforo sino a concentraciones de este elemento mucho más bajas que las que toleran otras especies, lo que se considera como uno de los mecanismos mediante los cuales la yuca muestra adaptación a los suelos con bajos contenidos de fósforo (Edwards *et al.*, 1977).

Existe bastante incertidumbre referente a los requerimientos externos de fósforo para el crecimiento máximo de la yuca. Por tanto, Jintakanon *et al.* (1979) encontraron en un experimento de corta duración (un mes) que en soluciones nutritivas fluyentes, 11 cultivares de yuca requerían una concentración externa de fósforo entre 28 y 78 μM . Los valores correspondientes para maíz, soya y algodón fueron 1,0; 0,6 y 0,6 μM , respectivamente. En un experimento un poco más largo (6 semanas) con 8 cultivares de yuca cultivados en solución nutritiva fluyente, Howeler *et al.* (1979) encontraron que todos los cultivares presentaron deficiencias marcadas de fósforo a 1 μM P, pero crecieron bien, tanto a 10 μM como a 100 μM , sin haber diferencia significativa entre estas dos concentraciones. En un experimento de dos meses, en macetas con un Oxisol con una alta capacidad de fijación de fósforo, se requirieron concentraciones de 95-130 μM P en la solución del suelo para alcanzar un crecimiento máximo de 95% en el cv. M

Foto 2. Deficiencia de fósforo. a) Respuesta del cv. Llanera al P en cultivo de arena. b) Respuesta del cv. Llanera al P en un Oxisol altamente deficiente en P en Carimagua, Colombia. La parcela al frente izquierdo no recibió P, la parcela a la derecha de la estaca recibió 875 kg de P/ha. c) Respuesta del cv. M Aus 7 al P en cultivo en solución. (Observe la ausencia de síntomas obvios fuera de la disminución en el crecimiento en las Fotos 2a, b, c). d) Síntomas de deficiencia severa de P en el cv. M Aus 10; observe las hojas cloróticas inferiores. e) Enroscamiento hacia arriba de los márgenes laterales de los lóbulos de una hoja deficiente en P del cv. M Aus 17. (El color verde se mantuvo cerca del punto donde se une el peciolo a la hoja en Fotos 2d, e). f) Comparación de plantas sanas (derecha) y deficientes en P (izquierda) con hojas descolgadas del cv. M Aus 10.



Aus 10 (Howeler *et al.*, 1979). En un trabajo anterior en el mismo suelo (Jintakanon, datos no publicados) se encontró un requerimiento externo de fósforo mucho menor (aprox $2,5 \mu M$), pero los resultados de este experimento no son confiables ya que hubo depresión del rendimiento a las tasas más altas de fósforo, debido a una deficiencia de magnesio. Por lo tanto, todos estos resultados son consistentes con la hipótesis de que el sistema radical de la yuca, grueso y poco ramificado, es ineficiente en la absorción de fósforo y que se requieren concentraciones externas de fósforo relativamente altas ($10-100 \mu M$) para obtener un crecimiento máximo.

Sin embargo, dos experimentos de campo recientes sugieren una situación muy diferente. En un Ultisol en Quilichao, Colombia, donde los rendimientos finales de raíces y del follaje del cv. Llanera aumentaron bastante con aplicaciones de fósforo, el 95% del rendimiento máximo de raíces de aprox 45 t/ha fue obtenido con una concentración de fósforo de $0,5$ y $0,8 \mu M$ en la solución del suelo (CIAT, 1978). En un experimento similar en un Oxisol en Kauai, Hawaii, Van der Zaag *et al.* (1979) informó que en el cv. Ceiba se llegó a un 95% del rendimiento máximo con una concentración de $0,2 \mu M P$ en la solución del suelo y rendimiento máximo a $0,8 \mu M$. Los resultados de este experimento fueron difíciles de interpretar por las posibles limitaciones debido a otros elementos diferentes al fósforo. Igual que en el experimento de Jintakanon (sin publicar), los rendimientos presentaron una alta depresión al usar dosis más altas de adición de fósforo, i.e., en concentraciones superiores a $0,8 \mu M P$ en la solución del suelo. En este sitio, otros cinco cultivares dieron un rendimiento de raíces pobre y no mostraron respuesta al fertilizante fósforo. Análisis foliares a los cinco meses sugirieron deficiencias de magnesio, azufre y zinc, siendo los valores en las hojas del cv. Ceiba 0,16%, 0,20% y $26 \mu g/g$, respectivamente. Se añadió una dosis adicional de magnesio y azufre en esta época pero aparentemente no se aplicó zinc.

En el IITA, las investigaciones mostraron que las raíces de yuca forman asociaciones de micorrizas, aunque la tasa de infección por *Glomus Fasciculatus* fue algo lenta (IITA, 1976). Se observó un estímulo de crecimiento cuando se inocularon plantas de yuca sembradas en suelo esterilizado con *G. mosseae* pero la inoculación de suelos sin esterilizar no produjo efectos beneficiosos (IITA, 1977). Potty (1978) confirmó la existencia de asociaciones de micorrizas en yuca sembrada en suelo de la India. Desde entonces se han demostrado los efectos importantes de asociaciones de micorrizas en la asimilación de fósforo por la yuca (Van der Zaag *et al.*, 1979; Yost y Fox, 1979). Yost y Fox (1979) informaron que la eliminación de la población natural de micorrizas en un suelo de Hawaii por medio de fumigaciones con bromuro de metilo, redujo los rendimientos de la parte aérea de la yuca a los 118 días a apenas el 10% de los obtenidos en suelo sin esterilizar, a las mismas concentraciones de fósforo en la solución de suelo (aproximadamente $0,1-0,2 \mu M$). En la Universidad de Queensland, un

Cuadro 3. Efecto de la inoculación micorrizica en el rendimiento total de materia seca del cv. de yuca M Aus 10 cultivado durante dos meses en un Oxisol (Krasnozem) esterilizado con bromuro de metilo.

Dosis de fósforo t/ha)	Rendimiento total de materia seca (g/planta)	
	Sin inocular	Inoculada
0	10,8	9,5
0,5	13,7	30,7
2	20,1	54,7
4	67,6	69,1

experimento reciente de macetas demostró que las plantas del cv. M Aus 10 de yuca cultivadas por dos meses en un suelo con alta fijación de fósforo, esterilizado con bromuro de metilo, respondieron fuertemente a inoculaciones con micorrizas en combinación con dosis bajas a intermedias de aplicación de fósforo (Cuadro 3). No se presentó una respuesta de crecimiento a la inoculación en la ausencia de aplicaciones de fósforo ni cuando se aplicó éste en dosis altas.

Se necesitan investigaciones más profundas para clarificar el papel de las micorrizas en la absorción de fósforo por yuca para explicar por qué se encuentran requerimientos externos altos de fósforo en ensayos de corta duración con suelo y en soluciones nutritivas, en comparación con los requerimientos externos aparentemente bajos en el campo.

La deficiencia de fósforo es en general el factor nutricional más limitante de la yuca que se cultiva en Oxisoles, Ultisoles y muchos suelos de cenizas volcánicas. Se puede corregir por medio de la aplicación en banda de fuentes de fósforo solubles como superfosfatos simple y triple, fosfatos amónicos, o los fertilizantes "completos" que contienen fósforo, o por medio de la incorporación de rocas fosfóricas o escorias básicas en el suelo. El superfosfato simple se recomienda para suelos que también tienen contenidos bajos de azufre. Aunque una buena cosecha de yuca probablemente no removerá del suelo más de 30 kg de fósforo/ha, puede ser necesario durante el primer año aplicar dosis más altas (≥ 100 kg de fósforo/ha) en suelos fijadores de fósforo; del segundo año en adelante bastará con dosis más bajas. Las dosis excesivamente altas tienden a inducir deficiencia de zinc en suelos con niveles bajos de este elemento. Todas las fuentes fosforadas deberían aplicarse en el momento de la siembra o poco después. Los contenidos críticos de fósforo disponible en el suelo para la producción de yuca determinados por medio de los métodos Olsen-EDTA, Bray I y Bray II fueron 4,8; 6,6 y 8 $\mu\text{g/g}$, respectivamente (Howeler, 1978).

3. Deficiencia de potasio

La deficiencia de potasio como la de fósforo, se caracteriza principalmente por una reducción marcada de la altura de la planta, tallos delgados, pecíolos cortos y hojas pequeñas (Fotos 3a, b). Únicamente en el caso de deficiencia aguda de potasio se observan síntomas específicos. En las primeras etapas, estos síntomas incluyen la aparición de pequeñas manchas púrpuras en las hojas más viejas (Foto 3c), enroscamiento hacia arriba de los márgenes foliares laterales y, en algunos casos, enroscamiento hacia abajo de los ápices foliares (Foto 3d). A medida que la deficiencia se intensifica, se desarrollan áreas cloróticas en los ápices y en los márgenes de las hojas (Foto 3d), las cuales finalmente se unen dando lugar a una necrosis marginal (Foto 3e). Las hojas viejas y los pecíolos se envejecen prematuramente y se caen. Spear *et al.* (1978b) observaron el desarrollo de ranuras longitudinales en los entrenudos superiores de los tallos de algunos cultivares con deficiencia de potasio y luego aparecieron grietas finas en la corteza de los tallos adyacentes a estas ranuras. Spear *et al.* (1978b) también observaron una decoloración púrpura o marrón en los pecíolos (Foto 3f) y ocasionalmente en el tejido de los tallos, después de la cual los pecíolos o el tallo afectados se doblegaron. Cours *et al.* (1961) informaron que la deficiencia de potasio inducía el desarrollo de antracnosis (*Colletotrichum* o *Glomerella manihotis*). Sin embargo, Spear *et al.* (1978b) no pudieron aislar agentes patógenos conocidos de la yuca a partir de las lesiones en los pecíolos. Krochmal y Samuels (1968) informaron

que en las hojas se presentaba una coloración marrón o púrpura debido a la deficiencia de potasio, seguida por clorosis marginal. Howell (1974) observó amarillamiento o coloración marrón de los ápices foliares y de los márgenes adyacentes en hojas viejas de plantas deficientes en potasio.

Las plantas de yuca normales tienen una concentración de potasio de 1,2-2,0% en las hojas más jóvenes totalmente expandidas, de 1,5-3,0% en los pecíolos correspondientes, y de 0,5-1,0% en las raíces (Cuadro 1). Los contenidos de potasio de los pecíolos fluctúan mucho más que los de las láminas foliares y, por consiguiente, parecen ser mejores indicadores del nivel de potasio de la planta que éstas últimas. Como en el caso de los contenidos de fósforo y de nitrógeno, el de potasio disminuye considerablemente de las hojas superiores a las inferiores en las plantas con deficiencias de potasio (Cours *et al.*, 1961; Spear *et al.*, 1978b). Los niveles altos de calcio y/o de magnesio disminuyen la absorción de potasio.

Los cultivos que producen alto rendimiento absorben del suelo grandes cantidades de potasio; así es como cada tonelada de raíces frescas de yuca contiene aproximadamente 25 kg de potasio. La producción continua de yuca sin fertilización adecuada de potasio puede, por lo tanto, agotar rápidamente las reservas de potasio del suelo (Nijholt, 1935). La deficiencia de potasio es más común en suelos arenosos, y en Oxisoles y Ultisoles con un nivel bajo de base, mientras que muchos suelos de cenizas volcánicas tienen una cantidad adecuada de este elemento. La deficiencia de potasio se corrige generalmente aplicando en banda cloruro o sulfato potásico, prefiriendo este último para suelos con un nivel bajo de azufre (Ngongi *et al.*, 1977). Generalmente se aplican los fertilizantes potásicos en el momento o poco después de la siembra y de nuevo 2 ó 3 meses más tarde, o cuando la planta comienza a desarrollarse vigorosamente después de una estación fría o cálida. Las aplicaciones excesivas de potasio pueden ocasionar deficiencia de magnesio y/o de calcio debido a la disminución de la absorción de estos elementos (Spear *et al.*, 1978c).

4. Deficiencia de magnesio

El síntoma más notorio de deficiencia de magnesio es una clorosis intervenal de las hojas inferiores. La clorosis comienza en los ápices y márgenes de los lóbulos foliares y se extiende hacia el interior entre las venas y la nervadura central, generalmente tomando el tejido clorótico un color amarillo brillante (Fotos 4a, b). Sin embargo, algunas veces las áreas cloróticas son de color verde pálido en vez de amarillo (Foto 4c).

Cuando la deficiencia de magnesio es severa, las áreas cloróticas pueden volverse necróticas y adquieren un color blanquecino o café (Fotos 4d, e). Spear *et al.* (1978c) demostraron que las concentraciones altas de potasio inhiben marcadamente la absorción de magnesio, y que la deficiencia de magnesio se puede inducir fácilmente aplicando niveles de potasio superiores a los óptimos (Foto 4f).

Foto 3. Deficiencia de potasio. a) Respuesta de la yuca al K en solución nutritiva. b) Respuesta del cv. Llanera a K en el campo. La parcela a la derecha no recibió K, la parcela a la izquierda recibió 125 kg de K/ha. Manchas moradas sobre la hoja inferior de una planta del cv. M Aus 3 deficiente en potasio. d) Hoja deficiente en potasio del cv. M Aus 3 que muestra la curvatura hacia abajo de los ápices de los lóbulos foliares y el desarrollo de clorosis marginal. d) Necrosis marginal de una hoja deficiente en K. f) Planta con deficiencia de K del cv. M Aus 10 con dos parches necróticos (señalados por las flechas) en el peciolo de la hoja más inferior.



Todavía no se han definido exactamente las concentraciones críticas de deficiencia de magnesio en los tejidos. Spear *et al.* (1978c) encontraron que la deficiencia de magnesio inducida por el potasio estaba asociada con concentraciones de magnesio de 0,29% o menos, en las hojas más jóvenes totalmente expandidas. La investigación efectuada en el CIAT sugiere que el rango normal para las hojas superiores es de 0,26-0,5% Mg, teniendo las plantas deficientes menos de 0,2% Mg. Un trabajo reciente efectuado por Whitehead (1979) indica una concentración crítica de 0,16% en la lámina foliar de la hoja más joven totalmente expandida del cv. Nina. Las concentraciones de magnesio de las plantas deficientes fueron generalmente mayores en las láminas foliares que en los peciolos. No obstante, en las plantas que recibieron cantidades adecuadas de magnesio, las concentraciones en las láminas foliares y en los peciolos fueron similares, o mayores en los peciolos (Cuadro 1).

La evidencia disponible sugiere que la yuca puede ser algo susceptible a la deficiencia de magnesio. En estudios en cultivos fluyentes, Spear *et al.* (1978c) encontraron que la tasa de absorción de magnesio en 12 cultivares de yuca era más baja que en el girasol o en el maíz, y que la deficiencia de magnesio con altas concentraciones externas de potasio reducían significativamente los rendimientos de la yuca, en tanto que los de las otras dos especies no fueron afectados. En un experimento subsecuente en cultivo fluyente, Whitehead (1979) encontró que los cv. Nina y M Aus 7 requerían concentraciones de magnesio en solución más alta para obtener un rendimiento máximo ($60 \mu M$) que el Caupi o el algodón ($8 \mu M$), pero concentraciones más bajas que la habichuela ($\geq 420 \mu M$). Sin embargo, con concentraciones externas de magnesio muy bajas ($0,5$ a $1,5 \mu M$), Whitehead encontró que la deficiencia de magnesio afectaba en menor grado el crecimiento de la yuca que el de la mayoría de otros cultivos. Se justifica continuar con la investigación sobre este elemento.

Foto 4. Deficiencia de magnesio. a) Planta con deficiencia de magnesio cultivada en el campo en Carimagua, Colombia. b) Una hoja deficiente en magnesio. c) Síntoma menos común de deficiencia de Mg en el cv. Mameya, en el que se observan áreas cloróticas de color verde pálido en lugar de amarillas. d) Hoja del cv. Nina deficiente en Mg, mostrando el comienzo de necrosis en las áreas cloróticas. e) Clorosis y necrosis de una hoja deficiente en magnesio del cv. M Aus 7. f) Deficiencias de magnesio inducidas por el potasio en el cv. M Aus 3.



c



d



e



f



La deficiencia de magnesio es más frecuente en suelos arenosos, en Ultisoles y Oxisoles con un nivel bajo de bases, y en suelos de ceniza volcánica con un nivel alto de potasio. Se puede corregir incorporando cal dolomítica u óxido de magnesio (20 a 50 kg Mg/ha) en suelos ácidos, o aplicando en bandas sulfato magnésico (10-40 kg Mg/ha). El sulfato magnésico es preferible cuando se necesita corregir deficiencia de magnesio observada o cuando el suelo tiene un contenido bajo de azufre.

5. Toxicidad de manganeso

El primer síntoma de toxicidad de manganeso es usualmente la aparición de pequeñas manchas café en las hojas inferiores. Estas manchas se concentran principalmente a lo largo de las venas (Foto 5a). A medida que la toxicidad se agudiza, las áreas de las hojas afectadas que no tienen manchas café, toman un color amarillo o amarillo verdoso (Fotos 5b, c). Posteriormente, estas hojas se vuelven flácidas y terminan por caerse. La toxicidad de manganeso puede disminuir considerablemente el crecimiento tanto de la parte aérea como de las raíces (Fotos 5d, e).

Un alto suministro externo de manganeso puede inducir deficiencia de hierro, que se caracteriza por clorosis intervenal de las hojas más jóvenes (Foto 5f; ver también la sección sobre deficiencia de hierro). En los cultivos en solución, este síntoma secundario de toxicidad de manganeso se puede curar elevando el nivel de suministro de hierro (Howeler, sin publicar).

Edwards (en imprenta) registró niveles críticos de toxicidad de manganeso de 250 a 1450 $\mu\text{g/g}$ en la parte aérea de plantas jóvenes de yuca. Howeler (1978) encontró síntomas de toxicidad asociados con concentraciones de manganeso de más de 1000 $\mu\text{g/g}$ en las hojas inferiores. La concentración en las hojas más viejas de las plantas afectadas fue mayor que en las hojas más jóvenes.

Foto 5. Toxicidad de manganeso. a) Hoja inferior del cv. Nina que muestra los primeros síntomas de toxicidad de Mn. Observe la concentración de manchas marrón pequeñas a lo largo de la nervadura central y de algunas venas laterales. b) Síntomas de toxicidad de Mn en el campo (cv. Llanera). La concentración de Mn en hojas afectadas fue 6000 $\mu\text{g/g}$. c) Toxicidad severa de Mn. Observe la progresión de los síntomas de las hojas más viejas (clorosis + manchas marrón) a las hojas más jóvenes (únicamente manchas marrón). d) Respuesta del cv. Nina a la concentración de Mn en solución. Las concentraciones de Mn de izquierda a derecha son aproximadamente 1, 2, 4, 10, 42, 130, 400 y 1200 μM . e) Efectos de la toxicidad de Mn para el crecimiento radical del cv. M Aus 3. Planta sana a la izquierda, planta con toxicidad de Mn a la derecha. f) Planta del cv. M Aus 10 que presenta síntomas de toxicidad de manganeso (hojas inferiores y del medio) y deficiencia de hierro inducida por Mn (hoja superior clorótica a la derecha).



Edwards y Asher (sin publicar) encontraron que los tres cultivares de yuca Nina, M Aus 7 y M Aus 10 eran moderadamente resistentes a la toxicidad de manganeso cuando crecieron en soluciones nutritivas fluyentes mantenidas a concentraciones constantes de manganeso. Los tres cultivares alcanzaron los rendimientos máximos de materia seca de la planta a $1,7 \mu\text{M}$ de Mn. Con $42 \mu\text{M}$ de Mn, los rendimientos de materia seca de la yuca fluctuaron de 61% del máximo (cv. Nina) a 89% (M Aus 7), mientras que los de la soya y de la habichuela fueron 51 y 33% del máximo, respectivamente. Entre las otras 12 especies estudiadas en este experimento, tres (girasol, centrosema y *Cajanus cajan*) fueron más tolerantes a la toxicidad de manganeso. Dos (Ciratro, Alaxor) presentaron una tolerancia similar, y las 7 restantes fueron menos tolerantes que la yuca. Bajo condiciones de campo, se han obtenido altos rendimientos de yuca (38 t/ha) en un suelo en que tanto soya como habichuela (*Phaseolus vulgaris*) murieron debido a la toxicidad de manganeso (CIAT, 1978).

La toxicidad de manganeso casi siempre se encuentra en los suelos ácidos. Es frecuente en los suelos de cenizas volcánicas de Colombia (CIAT, 1978). Como los óxidos de manganeso se reducen a Mn^{2+} bajo condiciones anaeróbicas, la toxicidad de manganeso es más severa en los suelos deficientemente drenados durante la estación húmeda. Se puede corregir aplicando cal, la cual aumenta el pH del suelo y disminuye la solubilidad del manganeso, y mejorando el drenaje.

6. Toxicidad de aluminio

La toxicidad de aluminio es un componente importante del complejo de infertilidad de suelos ácidos en muchos suelos tropicales. Sin embargo, muchas veces es difícil separar los efectos específicos de altas concentraciones de aluminio en solución en el suelo, de los otros factores asociados con los suelos ácidos. El aluminio tiene una solubilidad baja en suelos de pH neutro o ligeramente ácido pero aumenta rápidamente con pH's de menos de aproximadamente 5,0. Es difícil separar los efectos de los iones de aluminio de aquellos que se deben a los iones de hidrógeno a estos bajos niveles de pH. Además, la solubilidad del fosfato es baja en presencia de altas concentraciones de aluminio, haciendo que la deficiencia de fósforo se asocie muchas veces con la toxicidad de aluminio. Por otra parte, los suelos ácidos generalmente tienen un contenido bajo de calcio disponible, y el aluminio ha demostrado ser un inhibidor poderoso de la absorción de calcio (Awad y Edwards, 1977). Por lo tanto, los síntomas de deficiencia de calcio también se pueden asociar con la toxicidad de aluminio. El problema para distinguir entre los efectos directos e indirectos del aluminio se complica aún más por el hecho de que al encalar para reducir la solubilidad del aluminio se aumenta la cantidad de calcio disponible para la planta.

Los experimentos de cultivos en solución llevados a cabo con una cantidad adecuada de fósforo y calcio demostraron que la toxicidad de aluminio produce una

Foto 6. Toxicidad de aluminio. a) Una hoja del cv. M Aus 3 con toxicidad de aluminio de cultivo en solución nutritiva. b) Planta cultivada en un suelo ácido, con toxicidad de aluminio en Carimagua, Colombia. Observe las hojas inferiores cloróticas. La planta también muestra deformidades (indicadas por la flecha) de las hojas más jóvenes debido probablemente a la deficiencia de Ca inducida por el aluminio. c) Una hoja que muestra clorosis y necrosis intervenal. d) Comparación de 8 cultivares sembrados en soluciones nutritivas a las que se les agregó aluminio en dosis de 3 ó 30 mg/l. Observe las diferentes respuestas de los cultivares a los altos niveles de aluminio en la solución.

a



b



c



d



clorosis intervenal de las hojas inferiores. La intensidad de esta clorosis disminuye desde el ápice hacia la base de cada lóbulo (Fotos 6a, b). Algunas veces se desarrollan manchas necróticas levemente coloreadas dentro de las áreas cloróticas (Foto 6c). La toxicidad de aluminio también afecta adversamente el crecimiento radical, y algunos cultivares son mucho más susceptibles al daño radical que otros (Foto 6d). Los resultados de experimentos en el campo y en invernaderos sugieren que en general la yuca es más tolerante a la toxicidad de aluminio que otros cultivos como el maíz, el sorgo, el arroz, la soya y el frijol (CIAT, 1976, 1977; Gunatilaka, 1977). Gunatilaka (1977) encontró que la respuesta de la planta al aluminio no estaba bien correlacionada con las concentraciones de aluminio en los tejidos vegetales. Sin embargo, su información sugiere que las concentraciones críticas de aluminio en la parte aérea y en las raíces en plantas de yuca de 4 semanas de edad es de 60 a 100 y de 2000 a 14.000 $\mu\text{g/g}$, respectivamente. La investigación en el CIAT (1978) indica que la yuca tolerará una saturación de aluminio hasta el 80% del complejo de intercambio catiónico del suelo, mientras que muchos otros cultivos se ven severamente afectados con saturaciones de aluminio inferiores al 50%.

La toxicidad de aluminio es común en Oxisoles, Ultisoles y en Inceptisoles ácidos ($\text{pH} < 5,0$). El problema generalmente se controla incorporando cal dolomítica o calcítica que también sirven como fuentes de calcio y/o magnesio. Las tasas altas de cal rara vez son necesarias para disminuir la toxicidad de aluminio en la yuca, pero sí puede ser contraproducente al inducir deficiencias de micronutrientes, especialmente deficiencia de zinc (Howler *et al.*, 1977; Edwards y Kang, 1978).

Como algunos cultivares son mucho más tolerantes a altos niveles de aluminio que otros, la selección de cultivares tolerantes al aluminio puede ser una solución a largo plazo al problema de la toxicidad de aluminio.

7. Toxicidad de boro

Se han observado dos síntomas diferentes de toxicidad de boro y se requiere investigación adicional para establecer la relación entre ellos. En experimentos de cultivos en solución y cultivos en arena (Forno *et al.*, 1979; Howell, 1974), la toxicidad de boro se ha asociado con el desarrollo de manchas necróticas blanquecinas o parduzcas en las hojas inferiores. Generalmente, estas manchas tienen un halo de tejido más oscuro alrededor de ellas (Fotos 7a, b, c). Posteriormente, el tejido se vuelve necrótico y puede desprenderse dejando los márgenes de las hojas rasgados. Este síntoma de manchas foliares no se ha encontrado todavía en el campo. En cambio, en plantas cultivadas en suelos alcalinos a los cuales se agregó un exceso tóxico de boro, mostraron raquitismo y una clorosis algo difusa en las hojas inferiores. La intensidad de esta clorosis fue mayor en los ápices de los lóbulos (Foto 7d). Donde la toxicidad de boro ha sido causada por la aplicación excesiva de éste, generalmente las plantas se recuperan.

La toxicidad de boro en el campo se ha observado únicamente después de altas aplicaciones de fertilizantes bóricos o después de tratar las estacas con boro (Foto 7d). La experiencia con otros cultivos sugiere que la toxicidad de boro en la yuca se espera en suelos alcalinos con altos niveles de boro. Forno *et al.* (1979) informaron una concentración tóxica crítica de boro de 140 $\mu\text{g/g}$ en las partes aéreas de plantas jóvenes.

a



b



c



d

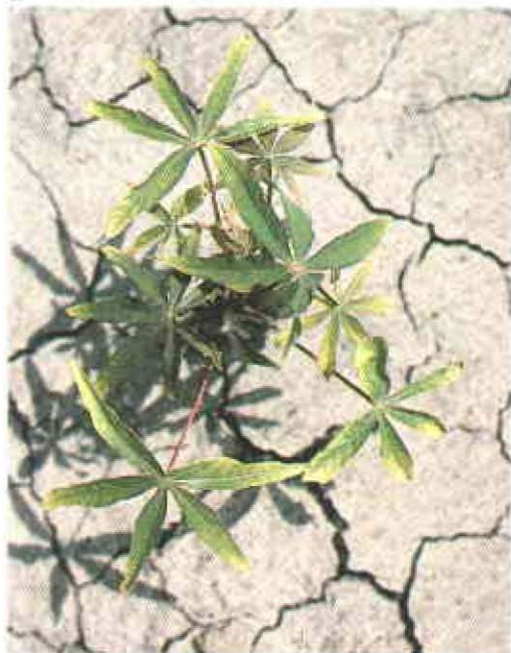


Foto 7. Toxicidad de boro. a) Síntomas de toxicidad de boro en las hojas inferiores del cv. MA us 10 de cultivos en solución. b) Una hoja con toxicidad de boro del cv. Seda. c) Una hoja con toxicidad de boro del cv. Mameya. d) Apariencia de una planta proveniente de una estaca tratada con boro en un suelo alcalino en el CIAT, Colombia.

Desórdenes que producen síntomas ya sea en las hojas superiores o inferiores

8. Deficiencia de azufre

El azufre se clasifica usualmente como un elemento móvil en el floema. Sin embargo, en muchos cultivos, los síntomas de deficiencia de azufre están menos confinados a las hojas inferiores que la mayoría de los otros elementos móviles en el floema, lo que sugiere una movilidad más bien baja en el floema.

En el caso de la yuca, hay cierta duda sobre el grado de movilidad del azufre en el floema. Krochmal y Samuels (1968) no mencionaron la posición de las hojas afectadas al describir los síntomas de deficiencia de azufre. Como se hizo mención de la posición de la hoja con relación a todos los otros desórdenes que producían síntomas definidos de deficiencia (N, K, Mg, Mn, Fe, Ca, B), se puede deducir que la clorosis foliar en el caso de la deficiencia de azufre no se limitó a las hojas en una posición particular. Los experimentos de cultivos en solución en la Universidad de Queensland han demostrado consistentemente que los síntomas de deficiencia de azufre ocurren primero y están limitados a las hojas más jóvenes (Fotos 8a, b). En el campo, sin embargo, Ngongi (1976) encontró síntomas de deficiencia de azufre más que nada en las hojas inferiores (Foto 8c). En vista de estos informes tan diferentes, es necesario efectuar investigación adicional sobre la deficiencia de este elemento en la yuca.

Todos los autores están de acuerdo en que las hojas deficientes en azufre tienen un color verde pálido a amarillo y una apariencia muy similar a la de las hojas con deficiencia de nitrógeno.

Las plantas cultivadas en el campo generalmente tienen concentraciones de azufre de 0,3-0,4% en las láminas foliares superiores totalmente expandidas; Howeler (1978) determinó una concentración crítica de 0,32%. Los pecíolos tienen concentraciones de azufre más bajas (0,13-0,15%) que las hojas (Ngongi, 1976), mientras que las raíces, tanto de las plantas sanas como de las que tenían deficiencias de este elemento, contenían de 0,05-0,06% S (Ngongi *et al.*, 1977).

Ngongi *et al.* (1977) observaron síntomas de deficiencia de azufre y disminución en el rendimiento de las raíces del cv. Llanera cultivados con altas dosis de KCl en una localidad deficiente en azufre en Colombia. Los síntomas foliares se presentaron más durante la estación seca. La adición del elemento azufre o el reemplazo de K_2SO_4 por KCl eliminó los síntomas y aumentó los rendimientos de las raíces más o menos en un 30%. Los síntomas de deficiencia de azufre fueron asociados con concentraciones menores del 0,30% S en las láminas foliares jóvenes totalmente expandidas de plantas de 12 semanas de edad. El hecho de que los otros cultivos no hayan mostrado síntomas de deficiencia de azufre en esta localidad, sugiere que la yuca puede ser más susceptible a la deficiencia de este elemento.

La deficiencia de azufre ha sido registrada en muchos Oxisoles y Ultisoles en América Latina (McClung *et al.*, 1959; Ngongi *et al.*, 1977) lo mismo que en Australia (Probert, 1978). En áreas industriales, la mayor parte del requerimiento de azufre de las plantas se puede abastecer con los altos contenidos de azufre en la atmósfera. Por lo tanto, la deficiencia de azufre se observa más frecuentemente en suelos alejados de áreas industriales. La deficiencia de azufre se puede controlar aplicando 10-20 kg S/ha como azufre elemental o yeso, o utilizando fertilizantes que contienen azufre como el sulfato amónico, superfosfato simple o el sulfato potásico.



Foto 8 Deficiencia de azufre. a) Deficiencia de azufre en una plántula del cv. Mameya de cultivo en solución. Observe los síntomas en las hojas superiores. b) Deficiencia de azufre en el cv. M Aus 3 de cultivo en solución. c) Deficiencia de azufre en el cv. Llanera de 3 meses de edad en Carimagua, Colombia. Observe los síntomas en las hojas inferiores.

Desórdenes que producen síntomas principalmente en las hojas más jóvenes

9. Deficiencia de calcio

El calcio es un elemento de poca movilidad en el floema (Epstein, 1972). El desarrollo de síntomas de deficiencia de calcio en tejidos en estado activo de crecimiento es una consecuencia de la pobre redistribución del calcio previamente absorbido dentro de la planta. Los sistemas radicales de la yuca son particularmente sensibles a la deficiencia de calcio (Fotos 9a, b). Por consiguiente, a menos de que se aplique una cantidad adecuada de este elemento al medio de cultivo, las plántulas no establecen un sistema radical saludable y las raíces existentes se volverán necróticas y comenzarán a descomponerse (Forno *et al.*, 1976). La deficiencia de calcio a veces se caracteriza por el quemazón y enroscamiento de los ápices de las hojas más jóvenes (Foto 9c), aunque esto no se ha observado en algunos cultivares, aún con concentraciones sumamente bajas de calcio que redujeron el crecimiento de la planta a menos del 25% en comparación con plantas a las cuales se suministró una cantidad adecuada de calcio. La deficiencia de calcio en el campo no se considera todavía un problema grave, aunque algunas respuestas al abono con cal en suelos ácidos se pueden deber totalmente o en parte a la corrección de la deficiencia de calcio (ver también el comentario relacionado con la deficiencia de calcio inducida por aluminio bajo el subtítulo "Toxicidad de aluminio").

Los niveles normales de calcio en las hojas superiores totalmente expandidas fluctúan de 0,6 a 1,5%, mientras que los peciolos de las hojas correspondientes tienen contenidos de calcio de 1,5 a 3%. Como se puede esperar de un elemento de baja movilidad en el floema, los niveles de calcio tienden a ser mayores en las hojas inferiores que en las superiores (Cours *et al.*, 1961; Spear *et al.*, 1978c).

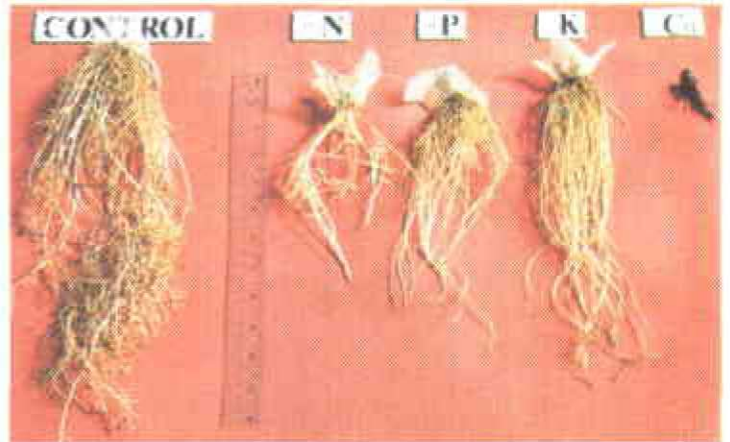
La yuca parece tolerar niveles bajos de calcio mejor que otros cultivos. Por lo tanto, en los estudios de cultivos fluyentes en la Universidad de Queensland, dos cultivares lograron un rendimiento relativo de 26% con una concentración de calcio muy baja ($0,5 \mu M$), mientras que el girasol, el sorgo, el maíz y la soya obtuvieron rendimientos relativos de menos del 3% con esta misma concentración (Edwards *et al.*, 1977). En un suelo con una marcada deficiencia de calcio en Nigeria, los cultivares de yuca no mostraron síntomas de deficiencia, mientras que la soya, el frijol lima y el maíz desarrollaron síntomas evidentes de deficiencia de calcio (Edwards y Kang, 1978).

Foto 9. Deficiencia de calcio. a) Respuesta del cv. M Aus 3 al incremento de los niveles de calcio en la solución nutritiva. b) Efecto del suministro inadecuado de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio en el crecimiento radical del cv. Mameya. Observe el aspecto perjudicial de la deficiencia de calcio en el crecimiento radical. c) Quemadura del ápice y deformación de las hojas superiores del cv. M Aus 3 debido a la deficiencia de calcio.

a



b



c



La deficiencia de calcio ocurre más frecuentemente en suelos arenosos o en Oxisoles y Ultisoles con un bajo contenido de bases intercambiables y alto contenido de aluminio intercambiable. Los efectos benéficos de aplicaciones pequeñas de cal (500-1000 kg/ha) en algunos suelos ácidos probablemente se deben a la corrección de la deficiencia de calcio inducido por aluminio en vez de una disminución de niveles de aluminio soluble en el suelo. El óxido o hidróxido de calcio se pueden emplear en lugar de la cal. Estas fuentes de calcio son más efectivas cuando se aplican al voleo y se incorporan en el suelo antes de la siembra. Donde la deficiencia de calcio no se asocia con un pH bajo, el yeso también se puede emplear como fuente de calcio. El uso de superfosfato simple (contiene 20% Ca) puede contribuir a la baja incidencia de deficiencia de calcio en condiciones de campo.

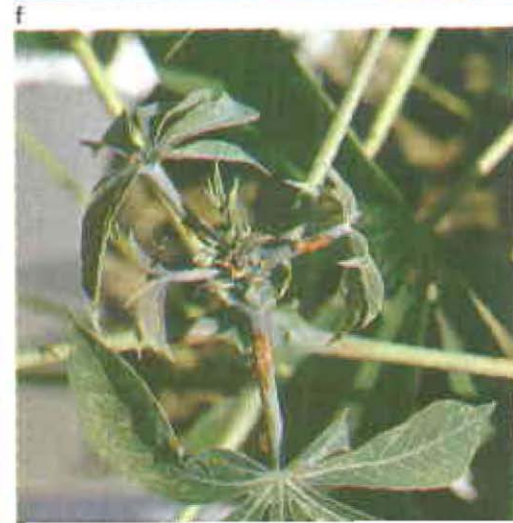
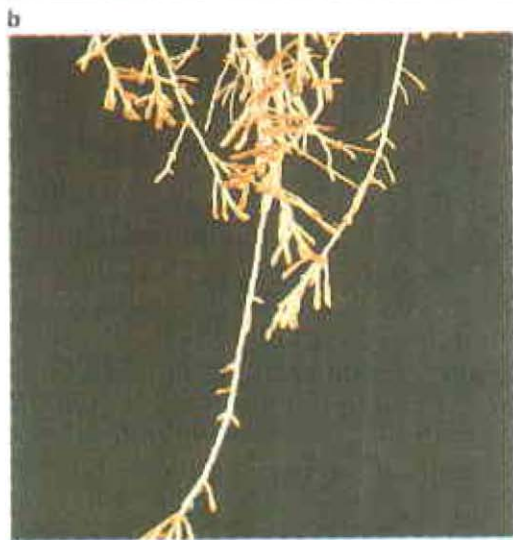
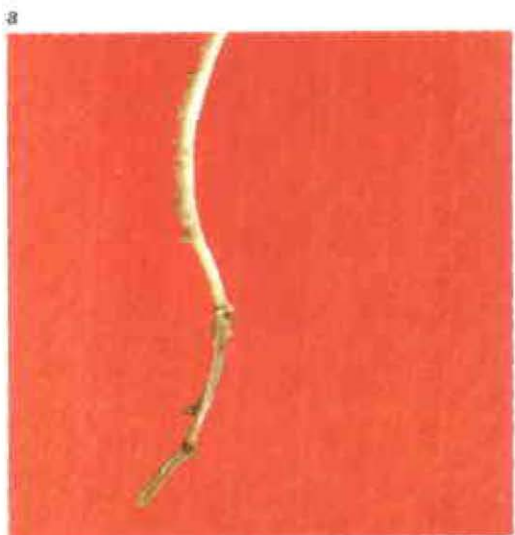
El uso excesivo de cal puede conducir a deficiencias de potasio, magnesio, hierro, manganeso, zinc o cobre.

10. Deficiencia de boro

Los ensayos por producir deficiencia de boro en cultivos de arena han tenido sólo un éxito limitado. Por lo tanto, Krochmal y Samuels (1968) informaron que la deficiencia de boro causó enanismo de las plantas jóvenes y clorosis leve de las hojas jóvenes. Sin embargo, las plantas se recuperaron posteriormente y obtuvieron una altura y un peso similar al de las plantas testigo en el momento de la cosecha a las 12 semanas. Howell (1974) no pudo producir síntomas de deficiencia de boro en el cv. Llanera o en el cv. CMC 39 en cultivos en arena. Sin embargo, se ha podido inducir fácilmente deficiencia de boro en cultivos en solución, empleando agua desionizada de buena calidad y sales de grado analítico en estudios efectuados en la Universidad de Queensland.

Como en el caso del calcio, el boro es un elemento de baja movilidad en el floema y, por consiguiente, los síntomas de deficiencia de boro ocurren en los tejidos jóvenes en crecimiento activo. Los primeros síntomas generalmente se aprecian en las raíces que muestran un mal desarrollo de las partes laterales y, algunas veces, muerte del ápice radical (Foto 10a). A veces, la muerte del ápice radical es seguida por la emergencia de raíces laterales cortas con extremos engrosados (Foto 10b). Sin embargo, no todos los cultivares presentan este síntoma. Las plantas con deficiencia de boro tienden a ser pequeñas debido a la reducción en la longitud de los entrenudos (Fotos 10c, d), y las hojas levemente afectadas desarrollan una clorosis que consiste en numerosas manchas diminutas de color gris pálido o café, las cuales se concentran principalmente en los ápices y en los márgenes de los lóbulos foliares (Foto 10e). Las hojas severamente afectadas son de tamaño pequeño, deformes y tienen pecíolos cortos. Un síntoma característico de la deficiencia de boro es el desarrollo de lesiones, de las cuales exuda una sustancia café gomosa en los tallos y pecíolos superiores (Fotos 10d, f). Las lesiones en el tallo se pueden convertir posteriormente en changros.

Foto 10. Deficiencia de boro. a) Raíz deficiente en boro en la cual se observan los laterales necróticos y el ápice radical mochos. b) Sistema radical deficiente en boro que muestra los ápices de las raíces laterales dilatados. c) Efecto del suministro de boro en la altura de la planta del cv. M Aus 10 (los niveles de boro aumentaron de izquierda a derecha). d) Una planta deficiente en boro del cv. M Aus 10 que muestra entrenudos cortos, hojas pequeñas deformes en el ápice del retoño y una lesión gomosa en el tallo (señalada con la flecha). e) Manchas cloróticas finas en la hoja de una planta deficiente en boro del cv. Amarillo. f) Parte superior del retoño en la cual se observan hojas pequeñas deformes, pecíolos cortos y lesiones gomosas en los pecíolos.



Las concentraciones de boro en las hojas superiores de las plantas normalmente fluctúan de 20-100 $\mu\text{g/g}$. Forno *et al.* (1979) han sugerido que la concentración crítica de boro es aproximadamente 17 $\mu\text{g/g}$ en las partes aéreas de la planta.

Hasta el momento, los síntomas de deficiencia de boro no se han registrado en la yuca cultivada en el campo. Sin embargo, en el sur de la India ha habido una respuesta significativa a la aplicación de boro en yuca sembrada en suelos lateríticos (CTCRI, 1973). La deficiencia de boro no se ha observado en la yuca cultivada en el CIAT en un terreno en que los rendimientos de maíz y de frijol se vieron reducidos drásticamente por la deficiencia de boro (Howeler *et al.*, 1978). Sin embargo, Forno *et al.* (1979) tienen datos que indican que la absorción de boro depende en alto grado de la temperatura de las raíces. Por lo tanto, una solución nutritiva que contiene una cantidad adecuada de boro para plantas de yuca cultivadas a una temperatura de las raíces de 26°C resultó deficiente en boro cuando la temperatura de las raíces era de 19°C. Estos resultados sugieren que el riesgo de deficiencia puede aumentar en las áreas donde las temperaturas del suelo son inferiores a las óptimas durante parte del ciclo de crecimiento. Basado en la experiencia con otros cultivos, el bórax y otros boratos sódicos deberían ser efectivos para controlar la deficiencia en dosis de 1-2 kg B/ha. Las estacas también se pueden sumergir durante 15 minutos en soluciones de bórax a una concentración de 0,5-1%, pero las concentraciones más altas son fitotóxicas.

11. Deficiencia de hierro

La deficiencia de hierro se caracteriza por la clorosis de las hojas más jóvenes. Inicialmente, sólo el tejido intervenal es clorótico, y las venas permanecen verdes (Foto 11a), pero en casos más avanzados, las nervaduras pierden su color verde y la totalidad de la hoja, incluyendo los pecíolos, se vuelve amarilla y posteriormente casi blanca (Foto 11b). La deficiencia de hierro generalmente se distingue de la de manganeso, que también produce clorosis intervenal de las hojas jóvenes, por la ausencia de una zona de tejido intervenal verde adyacente a las nervaduras, i.e., cuando hay deficiencia de hierro, las nervaduras verdes tienden a sobresalir sobre un fondo amarillo mientras que con la deficiencia de manganeso, el límite entre el tejido verde y el tejido clorótico es más difuso. La altura de la planta disminuye marcadamente (Foto 11c). Bajo condiciones menos severas, las plantas pueden tener un color verde claro uniforme, similar al color de las hojas que sufren deficiencia de nitrógeno (Foto 11d). Las hojas con deficiencia de hierro son más pequeñas que las normales, pero no deformes, y los lóbulos tienen la misma proporción longitud/ancho que las hojas normales. Altos niveles de manganeso (Foto 5f), zinc (Foto 11e) o cobre en las soluciones pueden inducir síntomas de deficiencia de hierro, los cuales desaparecen cuando se aumentan los niveles de hierro.

Las plantas normales tienen contenidos de hierro de 60-200 $\mu\text{g/g}$ en las hojas superiores totalmente expandidas. En la Universidad de Queensland, experimentos de cultivo en solución indican una concentración crítica de 122 $\mu\text{g/g}$ para la deficiencia en la hoja más joven totalmente expandida (Howeler, sin publicar).

La deficiencia de hierro es poco común en la yuca, pero se ha observado en suelos calcáreos de la península de Yucatán, en México (Foto 11d) y en suelos alcalinos ($\text{pH} > 8,0$) en el Distrito de Salem del sur de la India (CTCRI, 1973). En estos suelos también se observan deficiencias de zinc y manganeso. La deficiencia de hierro es común en suelos arenosos, suelos orgánicos o suelos que tienen niveles excesivamente

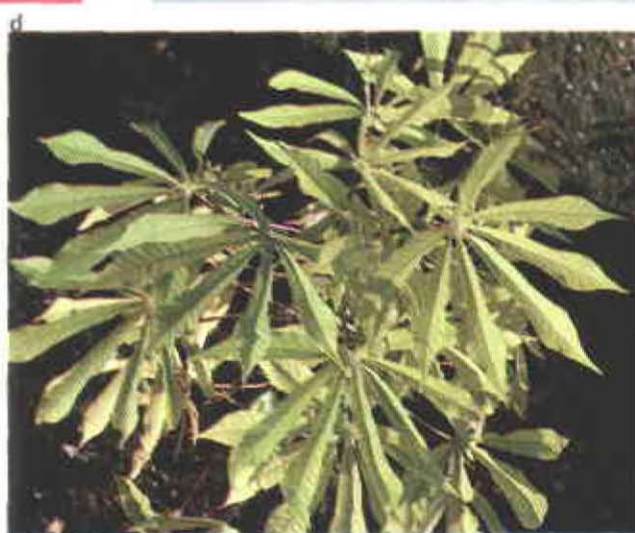
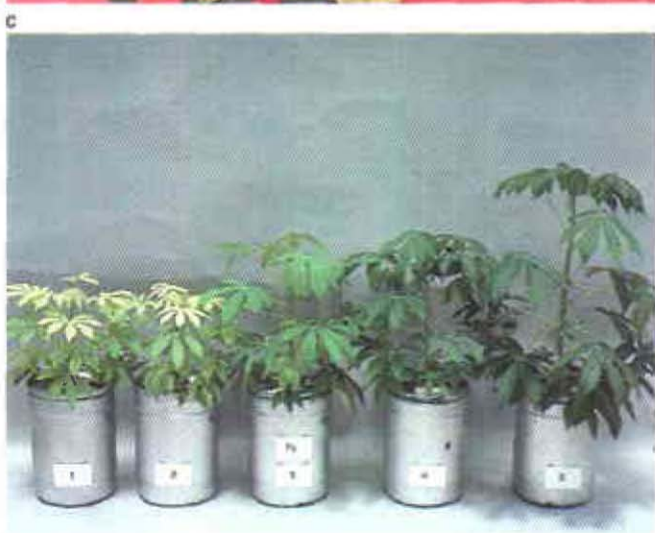
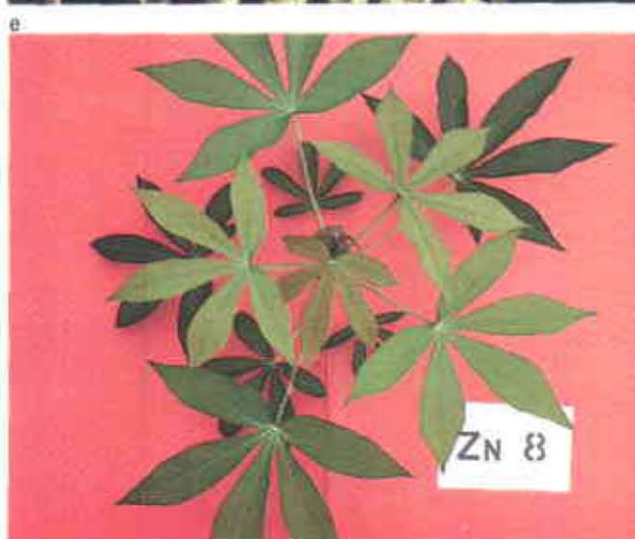


Foto 11. Deficiencia de hierro. a) Etapa temprana de deficiencia de hierro en el cv. M Aus 10 en que las nervaduras están todavía verdes. Observe la ausencia de color verde en el tejido *interveinal* adyacente a las venas. b) Deficiencia severa de hierro en el cv. M Aus 10 con hojas superiores que pasan del color amarillo a casi blanco. c) Respuesta del cv. M Aus 10 al suministro de hierro en solución nutritiva. d) Planta deficiente en hierro en un suelo calcáreo en Chetumal, México. e) Deficiencia de hierro inducida por el zinc en el cv. M Aus 10.



altos de manganeso. El encalamiento excesivo o la fertilización con grandes cantidades de fósforo también pueden inducir deficiencia de hierro. La deficiencia se controla mejor por medio de la aspersión foliar de quelatos de hierro o de solución de sulfato ferroso de 1-2%. Los quelatos también se pueden aplicar al suelo, pero son efectivos únicamente en concentraciones relativamente altas. La inmersión de las estacas en una solución de sulfato ferroso al 5% durante 5 minutos antes de la siembra no tuvo un efecto adverso en la germinación.

12. Deficiencia de manganeso

La deficiencia de manganeso produce una clorosis intervenal de las hojas jóvenes recientemente expandidas (Foto 12a). Esta clorosis se puede diferenciar de aquella causada por deficiencia de hierro por dos características. Primero, el límite entre el tejido clorótico y el verde tiende a ser difuso, y las venas están rodeadas por una zona definida de tejido intervenal no clorótico (Foto 12b). En segundo lugar, los síntomas generalmente no se observan en las hojas más jóvenes, sino en las que están casi o totalmente expandidas. No obstante, cuando la deficiencia de manganeso es muy severa, estas diferencias pueden desaparecer, y las hojas afectadas se vuelven totalmente cloróticas e incluso las hojas más jóvenes resultan afectadas (Foto 12c).

En suelos bien aireados se favorece la oxidación de Mn^{2+} , disponible para la planta a óxidos insolubles de manganeso. En consecuencia, la deficiencia de manganeso tiende a ser más severa durante las estaciones secas o en las partes mejor drenadas del terreno. Cuando ocurren cambios cíclicos en la disponibilidad de manganeso, las plantas tienden a producir hojas deficientes en este elemento durante cada período seco. Bajo estas circunstancias, los síntomas de deficiencia de manganeso se encuentran prácticamente en cualquier lugar de la planta (Foto 12d).

Los contenidos de manganeso de las hojas superiores totalmente expandidas de las plantas normales oscilan de aproximadamente 50 a 250 $\mu g/g$. Las hojas inferiores tienden a presentar concentraciones más altas que las hojas superiores, especialmente bajo condiciones de exceso de suministro de manganeso. En cultivos de solución, la concentración crítica en la hoja más joven totalmente expandida fue de 60 $\mu g/g$ (Howeler, sin publicar).

La deficiencia de manganeso en la yuca se ha observado en suelos calcáreos en México, y en suelos arenosos con un pH alto en Colombia y en el nordeste de Brasil. En el norte de la India, se ha encontrado una respuesta significativa al manganeso (CTCRI, 1974). La deficiencia de manganeso también se puede encontrar en suelos orgánicos. La deficiencia de manganeso se puede corregir aplicando óxido o sulfato de manganeso al suelo, o por medio de aspersiones foliares de sulfato o quelato de manganeso. La inmersión de las estacas en sulfato de manganeso al 5% durante 5 minutos antes de la siembra no tuvo efecto adverso en la germinación.



Foto 12. Deficiencia de manganeso. a) Planta del cv. CMC 39 que muestra clorosis de las hojas recientemente maduras debido a la deficiencia de manganeso. b) Hojas del cv. M Aus 10 que varían de severamente deficientes en manganeso (foto inferior a la izquierda) a sanas (foto inferior a la derecha). c) Respuesta al manganeso en solución nutritiva del cv. M Aus 10 (a la izquierda, nivel deficiente, al centro adecuado, a la derecha tóxico). d) Síntomas de deficiencia de manganeso en las hojas inferiores y del medio con hojas sanas en la parte superior, formados durante la estación lluviosa en el CIAT, Colombia.

13. Deficiencia de zinc

La deficiencia de zinc causa una clorosis intervenal característica de las hojas más jóvenes. Inicialmente, las hojas son de un color verde saludable. Luego se desarrollan pequeños parches cloróticos blancos o ligeramente amarillos en las zonas intervenales (Fotos 13a, b). La forma y el color de estos parches varían en los cultivares. Cada hoja sucesiva que produce la planta es más pequeña y más clorótica, y los lóbulos foliares se vuelven más estrechos, toman un color verde claro a blanco y sus márgenes se enrollan hacia arriba. Los ápices foliares son necróticos cuando la deficiencia es severa. En las hojas sanas, los dos lóbulos basales normalmente apuntan hacia el tallo, pero en las hojas deficientes en zinc, los lóbulos basales normalmente tienden a apuntar del tallo hacia afuera (Fotos 13b, c). Aunque la deficiencia de zinc afecta principalmente las hojas más jóvenes, en algunos cultivares las hojas más viejas desarrollan manchas necróticas (Foto 13d, planta a la derecha), bastante similares a aquellas producidas por la toxicidad de boro o la infección por *Cercospora caribaea*. Como el punto de crecimiento es el área más afectada, la deficiencia de zinc puede disminuir drásticamente el crecimiento y rendimiento de la planta. Normalmente, las plantas muestran síntomas de deficiencia de zinc poco después de la emergencia. Si la deficiencia de zinc no es marcada, las plantas se pueden recuperar después de que han establecido un buen sistema radical. En este caso, las hojas saludables aparecen encima de las hojas deficientes en zinc, o sea que los síntomas de deficiencia de zinc aparecen en las hojas más viejas en lugar de las más jóvenes.

La yuca parece ser excepcionalmente susceptible a la deficiencia de zinc. La deficiencia se ha observado varias partes del mundo, tanto en suelos ácidos (Foto 13c) como en suelos con un pH alto. Howeler *et al.* (1977) y Edwards y Kang (1978) encontraron que dosis moderadas de cal (2-3 t/ha) ocasionaron una disminución en los rendimientos y la aparición de síntomas de deficiencia de zinc en suelos ácidos de Colombia y de Nigeria, respectivamente. En un estudio efectuado por Edwards y Kang (1978), el encalamiento excesivo (5 t/ha) restringió severamente el crecimiento de la parte aérea (Foto 13f) y redujo los rendimientos de las raíces a cero. En el sur de la India (CTCRI, 1972, 1973, 1974) se han observado respuestas significativas a fertilizantes con zinc. También existen grandes diferencias de susceptibilidad entre los cultivares, y es posible seleccionar cultivares tolerantes a bajos contenidos de zinc en el suelo.

Las concentraciones de zinc en las hojas superiores totalmente expandidas de plantas sanas varían normalmente de 40 a 100 $\mu\text{g/g}$. Se han determinado concentraciones críticas de aproximadamente 35 a 50 $\mu\text{g/g}$ en varios cultivares (Howeler, 1978). En un experimento reciente de cultivo en solución en la Universidad de Queensland, la concentración crítica de zinc en las láminas foliares más jóvenes totalmente expandidas del cv. M Aus 10 fue de 37 $\mu\text{g/g}$ (Howeler, sin publicar). Edwards y Kang (1978) observaron síntomas de deficiencia en los cultivares Ojukaniye

Foto 13. Deficiencia de zinc. a) Hoja del cv. Seda que muestra bandas cloróticas lineales entre las venas. b) y c) Hojas superiores cloróticas de plantas del cv. M Mex 23 que se desarrollaron en suelo deficiente en zinc. Observe la tendencia de los lóbulos basales de las hojas afectadas a formar un ángulo obtuso con el pecíolo. d) dos plantas deficientes en zinc del cv. M Aus 10 en solución nutritiva. La planta menos afectada a la derecha muestra manchas en las hojas inferiores. e) Deficiencia de zinc en el cv. M Mex 23 en Carimagua, Colombia. f) Deficiencia de zinc inducida por la cal en el cv. Apuwuru. Los niveles de encalamiento fueron 0, 0,5 y 5 t/ha de izquierda a derecha. Las plantas también muestran síntomas del mosaico común de la yuca.



c



d



e



f



y Apuwuru cuando la concentración de zinc en una muestra compuesta de las tres hojas más jóvenes totalmente expandidas fue menor de 45 $\mu\text{g/g}$.

El contenido crítico de zinc de los suelos, extraído con 0,05 M HCl + 0,0125 M H_2SO_4 es aproximadamente 0,7 $\mu\text{g/g}$, y extraído con bicarbonato-EDTA de aproximadamente 0,8 $\mu\text{g/g}$ (Howeler, 1978).

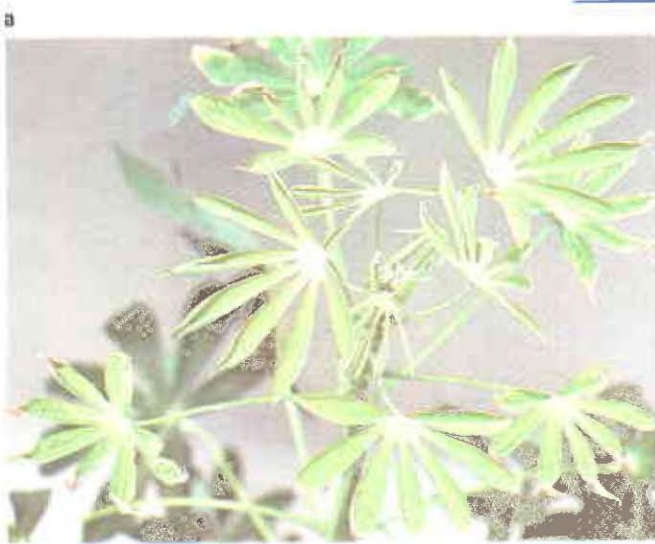
La deficiencia de zinc puede ser controlada por medio de la aplicación en banda de 5-10 kg Zn/ha como sulfato de zinc en el momento de la siembra o incorporando ZnO antes de la siembra. Bajo condiciones menos severas, una aplicación foliar de 1-2% de sulfato de zinc puede ser efectiva. Para prevenir la deficiencia de zinc al comienzo del crecimiento, se recomienda sembrar estacas que han sido sumergidas en 2-4% de sulfato de zinc durante 15 minutos antes de la siembra. Las concentraciones de sulfato de zinc hasta el 10% se pueden emplear sin afectar adversamente la germinación, siempre y cuando el tiempo de inmersión no se prolongue demasiado. La solución que se usa para sumergir las estacas se puede mezclar con fungicidas y/o insecticidas para mejorar la germinación y permitir un tiempo más largo de almacenamiento de las estacas (CIAT, 1977).

14. Deficiencia de cobre

Los principales síntomas de deficiencia de cobre son clorosis y deformidad de las hojas jóvenes. Normalmente, los ápices foliares se vuelven necróticos (Foto 14a) y las hojas se enroscan hacia arriba (Foto 14a) o hacia abajo (Foto 14b). Además, el número de lóbulos por hoja puede disminuir a 3 y en casos extremos a 1 (Foto 14c). La longitud de los entrenudos del tallo no disminuye mayormente, o sea que la altura de la planta puede ser aproximadamente normal, aún bajo condiciones de deficiencia de cobre moderadamente severas (Foto 14d). Sin embargo, cuando la deficiencia de cobre es severa, Chew *et al.* (1978) observaron muerte descendente de las plantas a partir de los ápices de los tallos, y que las plantas se desarrollaban nuevamente a partir de la base, produciendo una planta arbustiva con uno o más tallos muertos que se proyectaban de la parte superior. Frecuentemente, las hojas de la parte media de la planta están suspendidas de peciolo anormalmente largos y colgantes (Fotos 14b, e). La deficiencia severa de cobre puede reducir marcadamente el desarrollo de las raíces (Foto 14f), haciendo que las plantas deficientes en cobre se vuelvan susceptibles al estrés del agua aun cuando se cultiva en soluciones aireadas.

Los contenidos normales de cobre fluctúan de 7 a 15 $\mu\text{g/g}$ en las hojas superiores totalmente expandidas, y de 2 a 10 $\mu\text{g/g}$ en las raíces. Chew *et al.* (1978) encontraron un contenido de cobre de 14 $\mu\text{g/g}$ en plantas que habían recibido una cantidad adecuada de cobre y 7 $\mu\text{g/g}$ en plantas con deficiencia de cobre. Experimentos de cultivos en

Foto 14. Deficiencia de cobre. a) Hojas superiores cloróticas de una planta deficiente en cobre del cv. M Aus 10 en solución nutritiva. Observe los ápices foliares necróticos y la forma como las hojas se enroscan hacia arriba. b) Hojas superiores cloróticas de una planta deficiente en cobre del cv. Black Twig en suelo de turba en Malasia. Observe el enroscamiento hacia abajo de las hojas más jóvenes y cómo se descuelgan los peciolo de las hojas más viejas. c) Hojas deficientes en cobre del cv. Mamaya que muestran ápices necróticos, enroscamiento hacia arriba y disminución en el número de lóbulos por hoja. d) Respuesta al suministro de cobre en la solución nutritiva del cv. M Aus 10 (deficiencia de cobre severa a la izquierda, testigo a la derecha). e) Planta con deficiencia de cobre del cv. M Aus 10. Observe los síntomas en las hojas superiores, los entrenudos largos y los peciolo largos y colgantes de las hojas más viejas. f) Efecto de la deficiencia severa de cobre en el crecimiento radical del cv. Nina.



solución en la Universidad de Queensland indicaron una concentración crítica de 7 $\mu\text{g/g}$ en la hoja más joven totalmente expandida (Howeler, sin publicar).

La deficiencia de cobre tiende a presentarse en suelos ácidos arenosos con un bajo contenido total de cobre y en suelos orgánicos o alcalinos, donde la disponibilidad de cobre es baja. Sin embargo, la deficiencia de cobre en la yuca sólo se ha observado en suelos de turba. Chew *et al.* (1978) registraron que la deficiencia de cobre disminuía los rendimientos de 15 a 4 t/ha en suelos de turba en Malasia. En este suelo, la deficiencia de cobre se puede corregir aplicando al suelo 2,5-3,5 kg Cu/ha en forma de sulfato de cobre. El exceso de este elemento es altamente tóxico y sería conveniente aplicar tasas más bajas en suelos arenosos. La inmersión de las estacas en sulfato de cobre al 1% afectó gravemente la germinación.

15. Toxicidad de metales pesados

Las toxicidades de metales pesados son escasas, pero se pueden observar cerca de los centros industriales debido a la contaminación, en áreas donde se riega con lodo cloacal y en suelos derivados de ciertos materiales parentales. La aplicación excesiva de zinc o de fertilizantes de cobre en suelos arenosos también puede ocasionar el desarrollo de dicho problema. Hasta el momento no se tienen informes sobre toxicidades de metales pesados en el campo, aparte de la toxicidad de manganeso (ver p. 22).

La toxicidad de cobre disminuye severamente el crecimiento de la planta y puede inducir síntomas de deficiencia de hierro. Las plantas cuyas hojas tienen más de 20 $\mu\text{g/g}$ de cobre pueden presentar síntomas de toxicidad de cobre. En muchas plantaciones de banano abandonadas en Honduras se han encontrado suelos con niveles tóxicos de cobre, donde las aspersiones foliares frecuentes con sulfato de cobre volvieron éstos improductivos. El encalamiento (para reducir la disponibilidad de cobre) junto con aplicaciones de hierro y zinc pueden resultar efectivos.

Toxicidad de níquel. Inicialmente, las hojas superiores muestran síntomas similares a la deficiencia de hierro. No obstante, las manchas necróticas irregulares de color marrón se desarrollan posteriormente en las hojas afectadas (Foto 15a). La toxicidad de níquel no se ha registrado en la yuca cultivada en el campo pero sí en otros cultivos en áreas limitadas, especialmente en suelos derivados de rocas serpentinas.

La toxicidad de cromo ocasiona clorosis de las hojas más jóvenes cuya intensidad varía de verde pálido a amarillo hasta amarillo naranja en las hojas más jóvenes. La clorosis es más bien generalizada que intervenal (Foto 15b).

Foto 15. a) Toxicidad de níquel. b) Toxicidad de cromo en el cv. Mameya. Observe el rango de síntomas desde las hojas más viejas a las más jóvenes.

a



b



16. Salinidad y alcalinidad

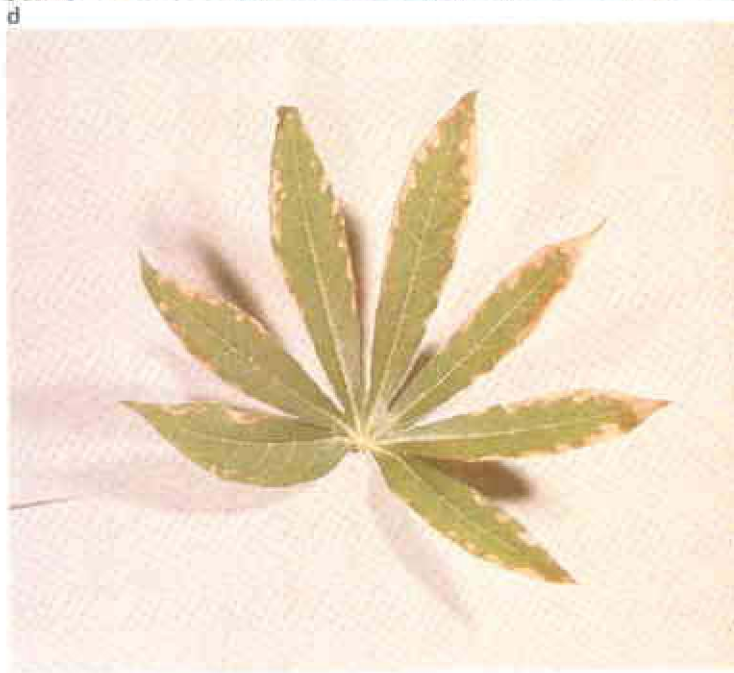
La yuca cultivada en suelos salino-alcálinos puede presentar un complejo de problemas que incluye pH alto, alto contenido de sodio, exceso de sales, drenaje insuficiente y algunas veces deficiencia de micronutrientes. Bajo condiciones severas, las plantas jóvenes se vuelven cloróticas; los síntomas comienzan en la parte superior pero afectan rápidamente la totalidad de la planta. Las hojas jóvenes presentan clorosis apical y marginal y se caen. Eventualmente, el punto de crecimiento muere, y luego se presenta la muerte de los tallos y de la planta total (Foto 16a). Bajo condiciones menos severas, la planta se vuelve uniformemente clorótica y su crecimiento y rendimiento disminuyen. El problema normalmente está muy localizado en "manchas salinas", en las cuales pueden morir las plantas (Foto 16b, área a la derecha) mientras que a pocos metros de distancia, el crecimiento de las plantas puede ser completamente normal.

Si bien la yuca es relativamente tolerante a los suelos ácidos (Edwards *et al.*, 1977), es bastante susceptible al pH alto y a los problemas relacionados de salinidad y alcalinidad (CIAT, 1976). Es de esperarse reducciones en el rendimiento de la mayoría de los cultivares cuando el pH del suelo está por encima de 7,8-8,0, los valores de conductividad son de más de 0,05 S/m y la saturación de sodio es superior a 2,5%. La yuca fue más susceptible a estos factores de salinidad y alcalinidad que el frijol (CIAT, 1977). También se ha observado que el maíz, el sorgo y el arroz son menos afectados por los problemas de salinidad y alcalinidad que la yuca.

Estos problemas se presentan principalmente en las áreas costaneras o en los valles con una precipitación relativamente baja y alta evaporación. La lixiviación de sales con agua de buena calidad, el mejoramiento de los drenajes y la aplicación de azufre y yeso pueden contribuir a mejorar el problema, pero la solución más práctica es seleccionar especies y cultivares tolerantes. La Foto 16c muestra cómo un cultivar susceptible fue severamente afectado (a la derecha), mientras que un cultivar tolerante se desarrolló normalmente en el mismo suelo. En CTCRI (CTCRI, 1975) se está llevando a cabo una investigación sobre la resistencia a la salinidad.

La salinidad es ocasionada por las altas concentraciones de sales en la solución del suelo, entre las cuales los cloruros y los sulfatos de sodio y magnesio son los más perjudiciales para las plantas. Hasta ahora no se han descrito los síntomas asociados con el exceso de iones individuales, y se requiere trabajo adicional en esta área. Sin embargo, en las soluciones nutritivas artificialmente salinizadas con cloruro de sodio, los ápices y los márgenes de las hojas inferiores desarrollaron parches necróticos (Fotos 16d). En el campo, las hojas inferiores en suelos con alto contenido de cloruro se volvieron amarillas prematuramente y se cayeron, mientras que el crecimiento de la planta disminuyó considerablemente. Mientras que los niveles normales de cloruro en el tejido vegetal fluctúan de 100 a 1000 $\mu\text{g/g}$ bajo condiciones tóxicas, las plantas pueden acumular cloruro hasta en un 1-5% (10.000-50.000 $\mu\text{g/g}$). La toxicidad del cloruro se reduce principalmente por medio de la lixiviación del suelo.

Foto 16. Salinidad-alcálinidad. a) Plantas de cv. Llanera que presentan problemas severos de salinidad en suelos de pH alto en el CIAT, Colombia. b) Plantas del cv. Llanera se mueven a la derecha de salinidad en un "parche salino", mientras que a la izquierda las plantas están sanas. c) El cv. M Col 22 (a la izquierda) muestra tolerancia y el cv. M Ven 290 (a la derecha) muestra una extrema susceptibilidad a la salinidad -alcálinidad en el CIAT, Colombia. d) Hoja del cv. M Aus 3 que muestra síntomas de toxicidad por cloruro sódico.



Referencias

- Awad, A.S. y Edwards, D.G. (1977). Reversal of adverse effects of heavy ammonium sulphate application on growth and nutrient status of a kikuyu pasture. *Plant & Soil*, 48, 169-183.
- Bates, T.E. (1971). Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation: A review. *Soil Sci.* 112, 116-130.
- Chew, W.Y., Joseph, K.T. y Ramli, K. (1978). Influence of soil-applied micro-nutrients on cassava (*Manihot esculenta*) in Malaysian tropical oligotrophic peat. *Exp. Agric.* 14, 105-111.
- CIAT, Annual Report (1975). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
- CIAT, Annual Report (1976). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
- CIAT, Annual Report (1977). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
- CIAT, Annual Report (1978). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
- CTCRI, Annual Report (1972). Central Tuber Crops Research Institute (CTCRI), Trivandrum, India.
- CTCRI, Annual Report (1973). Central Tuber Crops Research Institute (CTCRI), Trivandrum, India.
- CTCRI, Annual Report (1974). Central Tuber Crops Research Institute (CTCRI), Trivandrum, India.
- CTCRI, Annual Report (1975). Central Tuber Crops Research Institute (CTCRI), Trivandrum, India.
- Cock, J.H. y Howeler, R.H. (1978). The ability of cassava to grow on poor soils. *In* "Crop Tolerance to Suboptimal Land Conditions", ed. G.A. Jung. ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisc., U.S.A., pp. 145-154.
- Cours, G., Fritz, J. y Ramahadimby, G. (1961). Phellodermic diagnosis of the nutritional status of manioc. *Fertilité* 12, 3-20.
- Coursey, D.G. y Halliday, D. (1974). Cassava as animal feed. *Outlook on Agriculture*. 8, 10-14.
- De Boer, A.J. y Forno, D.A. (1975). Cassava: a potential agro-industrial crop for tropical Australia. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 41, 241-252.
- Edwards, D.G. (en imprenta). Nutrient requirements of cassava. C.R.C. Handbook of Nutrition and Food.
- Edwards, D.G., Asher, C.J. y Wilson, G.L. (1977). Mineral nutrition of cassava and adaptation to low fertility conditions. *In* Proc. Fourth Symp. Int. Soc. Tropical Root Crops, Cali, Colombia, 1-7 Aug. 1976, eds. J. Cock, R. MacIntyre and M. Graham, IDRC, Ottawa, Canada, pp. 124-130.
- Edwards, D.G. y Kang, B.T. (1978). Tolerance of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) to high soil acidity. *Field Crops Res.* 1, 337-346.
- Epstein, E. (1972). "Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives", John Wiley & Sons Inc., New York, pp. 412.
- Evenson, J.P. y Keating, B. (1978). The potential of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) as a harvester of solar energy. Institution of Chemical Engineers, N.S.W. Group, Conf. on Alcohol Fuels, Sydney, Aug. 9-11, pp. 7.1-7.5.

- Forno, D.A. (1977). The mineral nutrition of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) with particular reference to nitrogen. Ph.D. Thesis, Univ. Queensland, St. Lucia, Qld., Australia.
- Forno, D.A., Asher, C.J. y Edwards, D.G. (1976). Mist propagation of cassava tip cuttings for nutritional studies: effects of substrate calcium concentration, temperature and shading. *Trop. Agric. (Trinidad)* 58, 47-55.
- Forno, D.A., Asher, C.J. y Edwards, D.G. (1979). Boron nutrition of cassava and the boron x temperature interaction. *Field Crops Res.* 2 (en imprenta).
- Gunatilaka, A. (1977). Effects of aluminium concentration on the growth of maize, soybeans and four tropical root crops. M. Agr. Sc. Thesis, Univ. Queensland, St. Lucia, Qld., Australia.
- Howeler, R.H. (1978). The mineral nutrition and fertilization of cassava. In *Cassava Production Course*. CIAT, Cali, Colombia, pp. 247-292.
- Howeler, R.H., Cadavid, L.F. y Calvo, F.A. (1977). The interaction of lime with minor elements and phosphorus in cassava production. In *Proc. Fourth Symp. Int. Soc. Tropical Root Crops*, Cali, Colombia, 1-7 Aug. 1976, eds. J. Cock, R. MacIntyre and M. Graham, IDRC, Ottawa, Canada, pp. 113-117.
- Howeler, R.H., Edwards, D.G. y Asher, C.J. (1979). The effect of soil sterilization and mycorrhizal inoculation on the growth, nutrient uptake and critical phosphorus concentration of cassava. *Fifth Symp. Int. Soc. Tropical Root Crops*, Manila, Philippines, 17-21 September (en imprenta).
- Howeler, R.H., Flor, C.A. y González, C.A. (1978). Diagnosis and correction of B deficiency in beans and mungbeans in a Mollisol from the Cauca Valley of Colombia. *Agron. J.* 70, 493-497.
- Howell, D.H. (1974). Symptoms of nutrient deficiency in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). M.Sc. Thesis, Univ. Guelph, Guelph, Ontario, Canada.
- IITA, Annual Report (1976). International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Ibadan, Nigeria.
- IITA, Annual Report (1977). International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Ibadan, Nigeria.
- Islam, A.K.M.S., Edwards, D.G. y Asher, C.J. (1980). pH optima for crop growth: results of a flowing culture experiment with six species. *Plant & Soil* (en imprenta).
- Jintakanon, S., Edwards, D.G. y Asher, C.J. (1979). An anomalous high external phosphorus requirement for young cassava plants in solution culture. *Fifth Symp. Int. Soc. Tropical Root Crops*, Manila, Philippines 17-21 September (en imprenta).
- Krochmal, A. y Samuels, G. (1968). Deficiency symptoms in nutrient pot experiments with cassava. *Ceiba* 14, 7-16.
- Lee, C.E. (1973). Deficiency symptoms in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in nutrient pot experiments. Rept. Diploma Trop. Agron., Univ. Queensland, St. Lucia, Qld., Australia.
- Lim, C.K., Chin, Y.K. y Bolle-Jones, E.W. (1973). Crop indicators of nutrient status of peat soil. *Malaysian Agric. J.* 49, 198-207.
- McCann, D.J. y Prince, R.G.H. (1978). Agro-industrial systems for ethanol production. Institution of Chemical Engineers, N.S.W. Group, Conf. on Alcohol Fuels, Sydney, Aug. 9-11, pp. 4.22-4.30.
- McClung, A.C., Freitas, L.M.M. de y Lott, W.L. (1959). Analyses of several Brazilian

- soils in relation to plant response to sulfur. *Soil Sc. Soc. Amer. Proc.* 23, 221-224.
- Ngongi, A.G.N. (1976). Influence of some mineral nutrients on growth, composition and yield of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). Ph.D. Thesis, Cornell Univ., Ithaca, New York.
- Ngongi, A.G.N., Howeler, R.H. y MacDonald, H.A. (1977). Effect of potassium and sulphur on growth, yield, and composition of cassava. *In Proc. Fourth Symp. Int. Soc. Tropical Root Crops*, Cali, Colombia, 1-7 Aug. 1976, eds. J. Cock, R. MacIntyre and M. Graham, IDRC, Ottawa Canada, pp. 107-113.
- Nijholt, J.A. (1935). Opname van voedingstoffen uit den bodem door cassava. *Buitenzorg Algemeen Proefstation voor den Landbouw, Korte mededeelingen* No. 15.
- Normanha, E.S. (1961). Adubação da mandioca. *FIR* 3, 18-19.
- Potty, V.P. (1978). Occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhiza in certain tuber crops. *J. Root Crops* 4: 49-50.
- Probert, M.E. (1978). Availability of phosphorus and sulphur in tropical soils in relation to legume growth. *In "Mineral Nutrition of Legumes in Tropical and Subtropical Soils"*, eds. C.S. Andrew and E.J. Kamprath, CSIRO, Melbourne, Australia, pp. 347-360.
- Samuels, G. (1970). The influence of fertilizer levels and sources on cassava production on a Lares clay in Puerto Rico. *Carib. Food Crop Soc.* 8, 33-36.
- Smythe, B.M. (1978). Implementing an alcohol fuel program. *Institution of Chemical Engineers, N.S.W. Group, Conf. on Alcohol Fuels*, Sydney, Aug. 9-11, pp. 9.1-9.6.
- Spain, J.M., Francis, C.A., Howeler, R.H. y Calvo, F. (1975). Differential species and varietal tolerance to acidity. *In "Soil Management in Tropical America"*, eds. E. Bornemisza and A. Alvarado. N. Carolina State Univ., Raleigh, N.C., pp. 308-329.
- Spear, S.N., Edwards, D.G. y Asher, C.J. (1978a). Effects of nutrient supply on critical nutrient concentrations in cassava plants. *In "Plant Nutrition 1978"*, 8th Int. Coll. Plant Analysis and Fertilizer Problems, Auckland, eds. A.R. Ferguson, R.L. Bielecki and I.B. Ferguson, N.Z. DSIR Info. Series no. 134, pp. 499-506.
- Spear, S.N., Asher, C.J. y Edwards, D.G. (1978b). Response of cassava, sunflower and maize to potassium concentration in solution. I. Growth and plant potassium concentration. *Field Crops Res.* 1, 347-361.
- Spear, S.N., Edwards, D.G. y Asher, C.J. (1978c). Response of cassava, sunflower and maize to potassium concentration in solution. III. Interactions between potassium, calcium and magnesium. *Field Crops Res.* 1, 375-389.
- Ulrich, A. y Hills, F.J. (1967). Principles and practices of plant analysis. *In "Soil Testing and Plant Analysis. II. Plant Analysis"*. Soil Sci. Soc. Amer., Madison, Wis., Special Publication Series, No. 2, pp. 11-24.
- Van der Zaag, P., Fox, R.L., de la Pena, R.S. y Yost, R.S. (1979). Phosphorus nutrition of cassava including mycorrhizal effects on P, K, S, Zn and Ca uptake. *Field Crops Res.* (en imprenta).
- Whitehead, P. (1979). Magnesium nutrition of crop and pasture species. M. Agr. Sc. Thesis (en preparación). Univ. Queensland, St. Lucia, Qld., Australia.
- Yost, R.S. y Fox, R.L. (1979). Contribution of mycorrhiza to the P nutrition of crops growing on an Oxisol. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* (en imprenta).

Agradecimientos

La publicación de este folleto fue posible gracias al generoso respaldo financiero de la División de Cultivos Tropicales de Fielders Limited, Bundaberg, Queensland. La Seccional de Queensland del Australian Institute of Agricultural Science brindó también valiosa asistencia.

La mayoría de las ilustraciones incluidas en este folleto provienen directamente de la investigación realizada por los tres autores en la Facultad de Agricultura, Universidad de Queensland, y por el Dr. Howeler en el CIAT. Sin embargo, deseamos expresar nuestros agradecimientos a los siguientes científicos, quienes pusieron a nuestra disposición las ilustraciones que se indican a continuación: W. Y. Chew (Foto 14b), D. A. Forno (Fotos 7c, 10a, 10f), D. H. Howell (Foto 12a), A. G. N. Ngongi (Foto 8c), S.N. Spear (Fotos 3c, 3f, 4f) y P. Whitehead (Fotos 4d, 4e).

Esta versión en español de "Nutritional disorders of cassava (*Manihot esculenta* Crantz)" fue hecha por Stellia Sardi de Salcedo.