

CIAT
SB
211
.C3
H61₂
1981
C.2



Nutrición Mineral y Fertilización de la Yuca

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

ISBN
CIAT Serie No. 09SC-4
Enero 1981

Cita Correcta:

HOWELER, R. Nutrición mineral y fertilización de la yuca. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical. 55p.

También disponible en inglés.

Manihot esculenta/ Yuca/ Investigación/ Fertilidad del suelo/ Requerimientos edáficos/ Cultivo/ Requerimientos climáticos/ Requerimientos nutricionales/ Absorción/ Desarrollo de la planta/ Sintomatología/ Deficiencias minerales/ N/ P/ K/ Ca/ Mg/ S/ B/ Cu/ Fe/ Mn/ Zn/ Toxicidades/ B/ Mn/ Al/ Soluciones nutritivas/ Análisis del suelo/ Fertilizantes/ N/ P/ K/ Ca/ Mg/ Z/ Cu/ Zn/ Enmiendas del suelo/ Cal agrícola/ Cultivares/ Selección/ Resistencia/ pH/ Insectos perjudiciales/ Enfermedades y patógenos/ Productividad de tubérculos/

Tiraje: 1500 copias.

CIAT
SB
211
.C3
H61e
1981
C.2

CIAT. Col.
000167e

Serie 09SC-4

Nutrición Mineral y Fertilización de la Yuca

(*Manihot esculenta* Crantz)



16 JUL 1981

H. Howeler
//

6705

Contenido

Remoción de nutrimentos del suelo	6
Acumulación de nutrimentos en la planta	8
Concentración de nutrimentos en la planta	10
Diagnóstico de deficiencias nutricionales y toxicidades	13
Síntomas	13
Análisis del suelo y de la planta	17
Técnicas para diagnosticar problemas nutricionales	20
Requerimientos nutricionales externos	20
Requerimientos de suelo para la planta	22
Respuesta a la fertilización	23
Fertilización con Nitrógeno	24
Fertilización con Fósforo	27
Fertilización con Potasio	29
Fertilización con Calcio y magnesio	31
Fertilización con Azufre	32
Fertilización con Micronutrimentos	32
Encalamiento y utilización de otras enmiendas del suelo	33
Métodos de aplicación de fertilizantes	34
Epoca de aplicación	35
Selección de cultivares tolerantes a problemas del suelo	35
Estado nutricional y tolerancia a los insectos y a las enfermedades	36
Resumen y conclusiones	37
Prioridades de investigación	41

NUTRICION MINERAL Y FERTILIZACION DE LA YUCA

(*Manihot esculenta* Crantz)

R. Howeler*

La yuca, cultivo de raíces que se propaga vegetativamente a partir de estacas, se originó en América del Sur, donde las tribus indígenas aprendieron a extraer el líquido tóxico de las raíces para la preparación de harina (101). Las hojas también se utilizaron como legumbre (78). Después de la conquista de América, la planta fue introducida a África y Asia, donde llegó a ser un cultivo importante para el consumo humano y animal (143).

La yuca se cultiva en los trópicos de tierras bajas, principalmente como cultivo de subsistencia. Las raíces engrosadas se cosechan a los 6-24 meses después de la siembra, dependiendo de factores varietales y ecológicos. Es tolerante a las condiciones adversas del suelo y se puede producir en suelos muy ácidos o infértiles en los cuales otros cultivos no pueden crecer satisfactoriamente. Debido a su tolerancia al estrés de agua, la yuca se utiliza en épocas de hambruna en África del Norte, donde constituye la principal fuente alimenticia durante prolongados períodos de sequía (138). Como la yuca es uno de los más eficaces productores de carbohidratos entre las plantas superiores (142), recientemente ha surgido interés en su explotación a gran escala como alimento para animales o como materia prima para la producción de almidón o alcohol combustible. En 1978, los países con la mayor producción (más de 5 millones de t/año) fueron Brasil, Tailandia, Zaire, Indonesia, Nigeria, India y China (62).

Con el objeto de que no compita con los cultivos existentes, se sugiere que se establezcan plantaciones de yuca en áreas de suelos marginales (61). Aunque la yuca se ha cultivado tradicionalmente sin el uso de fertilizantes (52), se sabe que la planta responde bien a la fertilización (31, 32); y con el fin de alcanzar un alto potencial de rendimiento, es necesario emplear prácticas adecuadas de fertilización.

La literatura sobre la nutrición y fertilización de la yuca es escasa y frecuentemente de utilidad limitada debido a la información incompleta sobre las características del suelo, la cantidad de fertilizante utilizado y el método de aplicación. El objetivo de esta monografía es revisar la literatura existente y, con base en la información disponible, presentar algunas conclusiones generales que puedan servir de base para una investigación más intensiva sobre los requerimientos nutricionales de este importante cultivo.

* Especialista en Suelos, Programa de Yuca, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia

REMOCION DE NUTRIMENTOS DEL SUELO

Los agricultores generalmente consideran que la yuca empobrece el suelo y por lo tanto prefieren sembrarla como el último cultivo en las rotaciones, antes de dejar descansar la tierra (133). Sittibusaya & Kurmarohita (156) informan que después de 15 años de producción continua de yuca sin fertilización en el sureste de Tailandia, los rendimientos disminuyeron de un nivel inicial de 30 t/ha a sólo 17 t/ha. Cuando se fertilizaron estos suelos exhaustos con 375 kg de N, 164 kg de P y 312 kg de K/ha*, los rendimientos aumentaron de 22 a 41 t/ha.

En Indonesia, den Doop (53, 54) encontró que tres siembras sucesivas de yuca sin aplicación de K disminuyeron los rendimientos de 15 a 4 t/ha. Varios experimentos de larga duración han demostrado que si se aplica fertilización adecuada, se pueden mantener buenos rendimientos de yuca cultivada en forma continua (17, 77, 133). En Malasia (17), después de 15 años de cultivo consecutivo de yuca bien fertilizada, un cultivo subsiguiente de caucho produjo excelentes rendimientos.

Hongsapan (77) considera que por tonelada de alimento producido, la yuca empobrece las reservas nutritivas del suelo menos que el maíz, la caña de azúcar, el banano o el repollo; sin embargo, tomando el cultivo como base, la yuca extrae más nutrientes que la mayoría de otros cultivos tropicales, como se observa en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Extracción de N, P, K y Mg en el producto cosechado de cuatro cultivos tropicales.

Cultivo (Producción, t/ha)	N	P	K	Mg
	(kg/ha)			
Yuca (20,9)	87	37,6	117	35,1
Palma Africana (20,4)	61	9,9	84	13,6
Caucho (1,13)	9	2,0	11	2,3
Maíz (3,4)	82	20,7	69	14,7

Fuente: Kanapathy (92)

Según Prevot & Ollagnier (137), entre los cultivos tropicales, la yuca extrae la mayor cantidad de K del suelo, ya que presenta la mayor proporción K/N en el producto cosechado. Otros cultivos con altas proporciones K/N son el banano, la palma africana, la piña, el coco y la caña de azúcar; mientras que el maíz, el arroz y el algodón poseen proporciones K/N relativamente bajas.

El Cuadro 2 muestra las cantidades de nutrientes en la planta total de yuca y en las raíces (por tonelada de raíces cosechadas), reportadas por diferentes autores. Aunque los datos varían considerablemente debido a las diferentes condiciones del suelo,

* Para evitar confusiones, todos los nutrientes se expresan en una base elemental, no como P₂O₅, K₂O, CaO ó MgO.

Cuadro 2. Cantidades de nutrimentos extraídas por toneladas de raíces cosechadas de yuca.

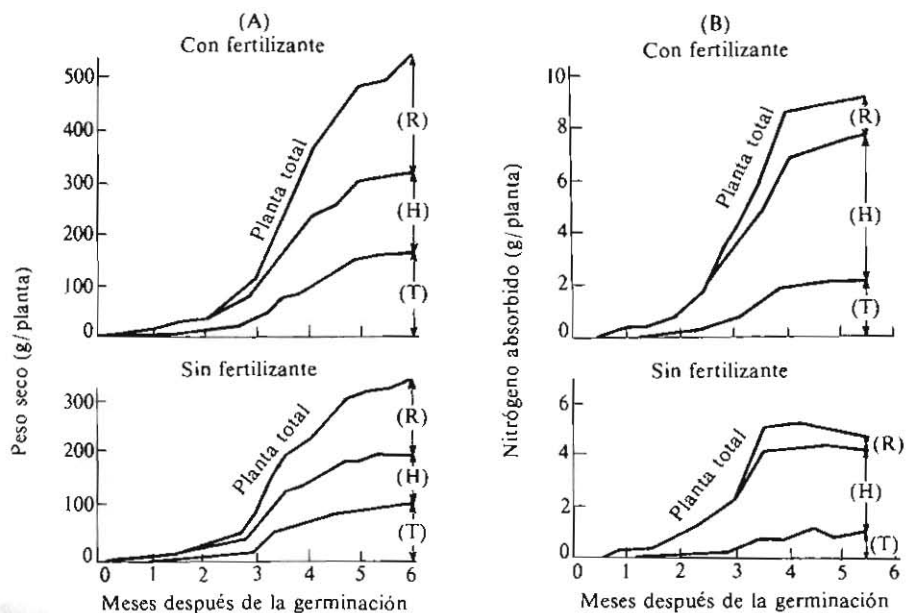
Parte de la planta	Rendimiento de raíces (t/ha)	Rendimiento					Fuente
		N	P	K	Ca	Mg	
		(kg/ha)					
Raíces	40	1,83	0,37	1,82	0,36	1,08	Dulong (57)
Raíces	52,7	0,72	0,53	5,08	0,65	0,37	Nijholt (117)
Planta total	—	2,50	0,92	9,04	3,06	0,99	Nijholt (117)
Raíces	64,6	0,70	0,44	4,91	0,79	0,28	Nijholt (117)
Planta total	—	1,93	0,70	7,53	2,40	0,66	Nijholt (117)
Raíces	6	1,00	0,29	2,64			Hongsapan (77)
Raíces	42	3,64	0,40	4,40	0,60	0,14	Dufournet & Goarin (56)
Planta total	—	6,02	0,67	5,95	1,00	0,69	Dufournet & Goarin (56)
Raíces	26	6,85	0,77	3,50	1,00	0,12	Dufournet & Goarin (56)
Planta total	—	10,96	1,38	4,69	2,15	0,46	Dufournet & Goarin (56)
Raíces	25	2,20	0,19	1,60			Días (51)
Raíces	50	3,06	0,34	3,70	0,50	0,12	Cours (47)
Planta total	—	5,06	0,56	5,00	0,84	0,58	Cours (47)
Raíces	—	3,00	0,50	3,50	0,60	0,10	Cours (47)
Planta total	—	5,00	0,80	5,00	1,20	0,50	Cours (47)
Raíces	2,6	1,49	0,49	2,11			Mejía (110)
Raíces	—	2,02	0,43	3,02			Kanapathy & Keat (91)
Planta total	—	6,28	1,89	6,53			Kanapathy & Keat (91)
Raíces	21	1,01	0,44	2,09	0,37	0,48	Kanapathy (92)
Planta total	—	4,10	1,77	6,43	2,15	1,63	Kanapathy (92)
Raíces	30	2,00	0,71	7,05			De Geus (50)
Raíces	40	2,12	0,66	5,74	1,32		De Geus (50)
Raíces	10	3,92	0,90	9,90	0,35		Obigbesan (130)
Raíces	9	3,63	0,88	9,67	0,40		Obigbesan (130)
Raíces	31	1,00	0,61	1,52			Sittibusaya & Kurmarohita (156)
Planta total	—	2,35	1,03	2,32			Sittibusaya & Kurmarohita (156)
Promedio							
Raíces		2,33	0,52	4,11	0,61	0,34	
Planta total		4,91	1,08	5,83	1,83	0,79	

cultivares, edad de las plantas a la cosecha, etc., en promedio la yuca extrae aproximadamente 2,3 kg de N, 0,5 kg de P, 4,1 kg de K, 0,6 kg de Ca y 0,3 kg de Mg/t de raíces, cuando sólo las raíces se extraen del campo. De esta manera, un rendimiento de 25 t de raíces/ha extrae 57 kg de N, 12 kg de P, 102 kg de K, 15 kg de Ca y 7 kg de Mg. Si se extrajera toda la planta para forraje y material de siembra, estas cantidades aumentarían a 122 kg de N, 27 kg de P, 145 kg de K, 45 kg de Ca y 20 kg de Mg/ha. Es claro que, en efecto, la yuca extrae grandes cantidades de nutrientes del suelo, pero el reintegro de los tallos y las hojas al campo reduce considerablemente el empobrecimiento del suelo. Además del K, la yuca extrae grandes cantidades de N, mientras que la extracción de P, Ca y Mg es relativamente baja.

Además de la extracción de nutrientes por el cultivo, la fertilidad del suelo se puede deteriorar debido a la erosión, ya que la yuca tiende a acrecentarla, especialmente durante la siembra y después de la cosecha. Gómez (72) calculó un índice de erosión de 9,8 para la yuca en comparación con 1,0 para el pasto forrajero, 1,1 para la caña de azúcar, 1,7 para la piña y 11,8 para el café en un suelo de ceniza volcánica con un 60% de pendiente en Colombia. Desafortunadamente, la yuca es, con frecuencia, el único cultivo que crece en lomas severamente erosionadas, acelerando aún más la erosión del suelo. Esta práctica se debe limitar tanto como sea posible o debe combinarse con prácticas de control de la erosión tales como labranza mínima, siembra según el nivel y utilización de abonos verdes o cultivos de cobertura (32, 85).

ACUMULACION DE NUTRIENTOS EN LA PLANTA

Mediante toma bisemanal de muestras y análisis de diferentes partes de la planta de yuca, Orioli et al. (134) en Argentina determinaron la distribución de materia seca (MS), N, P, K y Ca durante un ciclo de crecimiento de seis meses, tanto para plantas fertilizadas como sin fertilizar. La Figura 1A muestra que la producción de MS fue lenta durante los primeros tres meses, pero aumentó rápidamente durante los dos meses siguientes, antes de disminuir en el sexto mes, probablemente debido al comienzo del invierno. Las raíces acumularon MS a una tasa bastante constante durante la totalidad del ciclo de crecimiento, mientras que las hojas y los tallos acumularon poca durante el sexto mes. Aunque las plantas fertilizadas acumularon MS en mayores cantidades que las no fertilizadas, la Figura 1A muestra que la distribución relativa entre las partes de la planta fue aproximadamente la misma para las dos condiciones. La tasa de acumulación de N fue baja durante los dos primeros meses, alcanzó un máximo en el tercero y en el cuarto mes, y luego declinó a una tasa muy baja durante los dos últimos meses (Figura 1B). Las plantas no fertilizadas perdieron N durante estos dos meses finales. Aunque a los seis meses la MS estaba distribuida en forma bastante uniforme entre las raíces, los tallos y las hojas, el N se presentaba principalmente en las hojas, con relativamente poca acumulación en las raíces y en los tallos. Esto refleja el alto contenido proteínico de las hojas y en el bajo contenido proteínico de las raíces. La tasa de acumulación de P y K siguió un patrón similar al del N. En este caso, también la mayor parte del P y del K se presentó en las hojas; durante el último mes, tanto las hojas como los tallos perdieron P mientras que las raíces y los tallos perdieron algo de K. La acumulación de Ca difirió de la de NPK en que después de los dos primeros meses, la tasa de acumulación permaneció casi constante durante el ciclo de

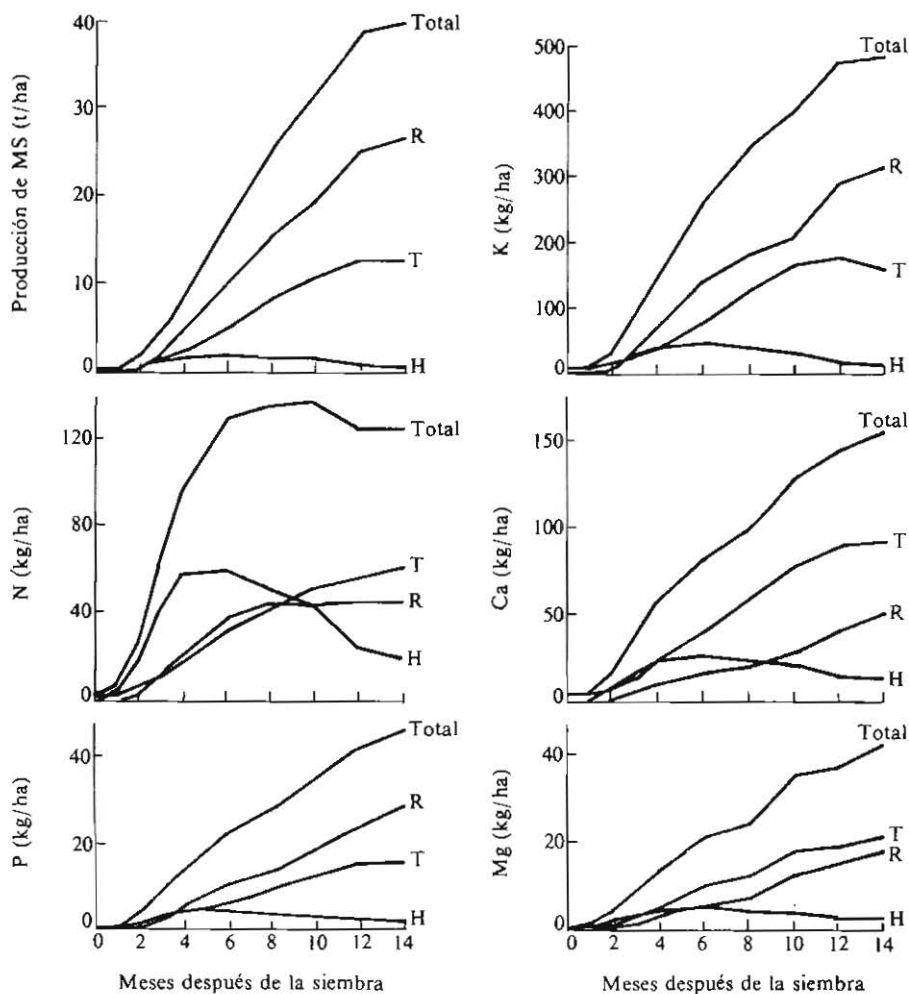


Fuente: Orioli et al. (134)

Figura 1. Acumulación y distribución de materia seca (A) y nitrógeno (B) en las raíces (R), hojas (H) y tallos (T) de la yuca durante los primeros seis meses de crecimiento, con y sin fertilización (aplicación mensual de 20 kg de N, 8 kg de P y 16 kg de K/ha) en Argentina.

crecimiento. La acumulación de Ca en las hojas y en las raíces se detuvo después de tres meses, mientras que continuó en los tallos. Las curvas de acumulación relativa de nutrientes para las plantas fertilizadas y no fertilizadas fueron muy similares aunque las primeras absorbieron nutrientes en mayores cantidades.

Nijholt (117) determinó la acumulación de MS y de nutrientes en diferentes partes de la planta, en dos cultivares de yuca que crecieron durante 14 meses en un suelo laterítico en Indonesia. Se recogieron muestras de las plantas a intervalos mensuales. La Figura 2 muestra que bajo las condiciones tropicales de Indonesia, la acumulación total de MS continuó durante el ciclo de crecimiento; sin embargo, esta acumulación se detuvo después de seis meses en las hojas, disminuyó su ritmo en los tallos, pero continuó en las raíces. En la Figura 2 también se presenta la acumulación y distribución de N, P, K, Ca y Mg durante el ciclo de crecimiento. La cantidad de N en la planta aumentó a una tasa casi constante hasta los seis meses, luego permaneció constante y después de diez meses se presentó una ligera disminución debido a la caída de las hojas. Las raíces acumularon N sólo hasta los ocho meses, después de lo cual la cantidad permaneció casi constante. Aunque el peso de las raíces continuó aumentando hasta los 14 meses, el contenido de N disminuyó desde 1,03% a los dos meses hasta 0,17% a los 14 meses. Sólo los tallos continuaron acumulando N durante el ciclo de crecimiento. La acumulación de P, K, Ca y Mg continuó a una tasa bastante constante durante el ciclo de crecimiento, aunque en las



Fuente: Adaptado de Nijhoit (117)

Figura 2. Acumulación de materia seca, N, P, K, Ca y Mg en las hojas (H), tallos (T), raíces (R) y en la planta total (Total) en el cv. de yuca São Pedro Preto durante un ciclo de crecimiento de 14 meses en Indonesia.

hojas la cantidad disminuyó después de seis meses debido a su caimiento. El K y el P se acumularon principalmente en las raíces; el Ca y el Mg, especialmente en los tallos (117).

CONCENTRACION DE NUTRIMENTOS EN LA PLANTA

La concentración de nutrientes varía considerablemente entre las partes de la planta y también cambia durante el ciclo de crecimiento. El Cuadro 3 muestra cómo la

Cuadro 3. Concentración de nutrimentos en las hojas, tallos y raíces del cv. de yuca São Pedro Preto en varias edades de la planta.

Mes	Hojas (% de MS)					Tallos (% de MS)					Raíces (% de MS)				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
2	3.28	0.29	2.21	1.13	0.33	0.88	0.27	1.96	1.07	0.30	1.03	0.19	2.13	0.48	0.16
4	3.41	0.27	2.05	1.38	0.28	0.81	0.21	1.69	1.03	0.27	0.45	0.11	1.47	0.22	0.07
6	3.06	0.24	2.11	1.37	0.27	0.64	0.13	1.53	0.78	0.20	0.36	0.11	1.41	0.16	0.06
8	3.20	0.24	2.16	1.43	0.28	0.49	0.12	1.52	0.69	0.15	0.28	0.09	1.18	0.13	0.05
10	2.79	0.22	2.00	1.39	0.28	0.48	0.12	1.53	0.73	0.17	0.22	0.10	1.07	0.15	0.07
12	2.47	0.23	1.61	1.48	0.29	0.44	0.12	1.38	0.70	0.15	0.18	0.09	1.14	0.16	0.06
14	2.34	0.23	1.33	1.61	0.35	0.48	0.12	1.26	0.72	0.17	0.17	0.11	1.19	0.19	0.07

Fuente: Adaptado de Nijholt (117)

concentración de varios nutrimentos varió con el tiempo en las raíces, los tallos y las hojas. A medida que la planta envejecía, el N, el P y el K disminuían significativamente en las tres partes de la planta. Las concentraciones de Ca y Mg tendieron a aumentar con la edad de la planta en las hojas, pero disminuyeron en los tallos y en las raíces. La concentración de N fue muy alta en las hojas, mucho menor en los tallos y muy baja en las raíces, lo cual refleja el bajo contenido proteínico de estas últimas. Las concentraciones de P, K, Ca y Mg también fueron mayores en las hojas que en los tallos y en las raíces, pero las diferencias fueron mucho menores.

Cours et al. (48) determinaron que dentro de la parte aérea de la planta se presentaban diferencias considerables entre las partes superiores y las inferiores. El Cuadro 4 muestra que las láminas de hojas jóvenes tienen mayor concentración de N, P y K pero menor concentración de Ca que las más viejas. Spear et al. (159) también informaron que las concentraciones de K eran más altas en las hojas jóvenes, mientras que el Ca y en menor grado el Mg presentaban concentraciones más altas en las hojas más viejas. Observaron, sin embargo, que la concentración externa de K afectaba considerablemente la concentración relativa de K, Ca y Mg en la planta. Cours et al. (48) encontraron que los pecíolos de las hojas superiores contenían más N, P y Ca pero menos K que los de las hojas inferiores; las láminas foliares contenían más N y P, pero menos K y Ca que los pecíolos; también las ramas verdes superiores poseían más N, P, K y Ca que las ramas inferiores, las cuales a su vez tenían un mayor contenido de estos elementos que la rama primaria o el tallo principal. El feloderma del tallo principal tenía un alto contenido de K, y Cours et al. (48) recomendaron la utilización de esta parte de la planta para el diagnóstico de la deficiencia de K. En un estudio más detallado, Cours et al. (47) encontraron que las concentraciones de N, P y K disminuyeron desde las hojas superiores de la rama primaria hacia las inferiores, y de las ramas superiores a las inferiores, mientras que las concentraciones de Ca y Mg aumentaron desde las hojas y ramas superiores hacia las inferiores.

Cuadro 4. Concentraciones de nutrimentos de diferentes láminas foliares, pecíolos y tallos de yuca.

Parte de la planta	N	P	K	Ca
	(% de MS)			
Lámina foliar parte superior	3,84	0,23	0,80	0,45
Lámina foliar parte inferior	2,48	0,18	0,72	0,81
Pecíolo, hoja superior	1,68	0,17	1,04	1,13
Pecíolo, hoja inferior	1,40	0,08	1,15	1,02
Rama joven, parte superior	1,36	0,16	0,49	1,40
Rama joven, parte inferior	1,28	0,06	0,40	0,45
Rama primaria	1,00	0,05	0,51	0,37
Madera del tallo principal	0,76	0,07	0,40	trazas
Feloderma del tallo principal	1,12	0,06	1,81	0,85

Fuente: Cours et al. (48)

Los Cuadros 5 y 6 resumen las concentraciones de nutrimentos en las partes de la planta, según el registro de varios investigadores. Aun entre las mismas partes de la planta, las concentraciones de nutrimentos varían considerablemente debido a las diferencias en la fertilidad del suelo, el clima, los cultivares y la edad de la planta en el momento de tomar las muestras. Sin embargo, constituyen una indicación de los niveles de nutrimentos que se pueden esperar en diferentes partes de la planta bajo condiciones normales de crecimiento.

DIAGNOSTICO DE DEFICIENCIAS NUTRICIONALES Y TOXICIDADES

El diagnóstico de los problemas nutricionales se realiza generalmente mediante a) observación de síntomas de deficiencia o toxicidad, b) análisis del suelo y de la planta y c) aplicación de varios elementos y observación de las respuestas de la planta.

Síntomas

Los síntomas de deficiencia nutricional y toxicidad en la yuca fueron determinados por Krochmal & Samuels (94) y Howell (84) en cultivos de arena, y por Lee (100), Asher (12) y Howeler et al. (83) en soluciones nutritivas. Lozano et al. (104) y Asher et al. (15) publicaron fotografías a color y una descripción detallada de la sintomatología. Esta información se puede resumir brevemente como sigue:

Deficiencias

N - crecimiento reducido de la planta; en algunos cultivares, amarillamiento uniforme de las hojas, el cual comienza con las hojas inferiores pero pronto se extiende a toda la planta

P - crecimiento reducido de la planta, hojas pequeñas, tallos delgados; en condiciones severas, amarillamiento de las hojas inferiores, las cuales se tornan flácidas y necróticas y caen al suelo

K - crecimiento reducido de la planta, hojas pequeñas; en condiciones muy severas, manchas púrpuras, amarillamiento y necrosis de los ápices y márgenes de las hojas inferiores; necrosis de los pecíolos o del tejido del tallo; grietas finas en el tallo

Ca - crecimiento reducido de la raíz; hojas superiores pequeñas y deformes

Mg - marcada clorosis intervenal en las hojas inferiores; cierta reducción en la altura de la planta

S - amarillamiento uniforme de las hojas superiores; algunas veces se han observado síntomas similares en las hojas inferiores

Cuadro 5. Concentraciones de nutrimentos en diferentes partes de la planta de yuca según varios investigadores.

Parte de la planta	N	P	K	Ca	Mg	S	Fuente
	(%)						
Hojas jóvenes	5,5	0,4	1,2	0,7	0,3		Cours (47)
Hojas viejas	5,0	0,3	0,7	1,4	0,4		Cours (47)
Estacas	0,95	0,39	2,47	0,42			Orioli et al. (134)
Hojas	2,80	0,25	1,27	2,23	0,55		Krochmal & Samuels (95)
Peciolos	0,86	0,24	1,56	5,86	1,23		Krochmal & Samuels (95)
Tallos	0,60	0,36	1,92	0,88	0,17		Krochmal & Samuels (95)
Raíces	0,27	0,11	0,59	0,10	0,13		Kanapathy & Keat (91)
Hojas	4,31-4,82	0,33-0,37	0,58-0,92				Roche et al. (140)
Hojas	3,54-6,17	0,22-0,37	0,78-1,05	0,27-0,93	0,24-0,44		Cours (47)
Hojas	3,35-3,90	0,17-0,26	0,36-1,60	0,84-1,10			CTCRI (27)
Tallos	0,93-1,28	0,09-0,23	0,39-0,76	0,45-1,04			CTCRI (27)
Raíces	0,43-0,93	0,12	0,34-0,98	0,40-0,84			CTCRI (27)
Hojas + ramas	3,18	0,33	1,33	1,08	0,64		Kanapathy (92)
Tallos	0,61	0,49	1,13	0,52	0,36		Kanapathy (92)
Raíces	0,28	0,12	0,57	0,10	0,14		Kanapathy (92)
Láminas foliares	4,78-4,90	0,22	1,48-1,74	0,60-0,66	0,22-0,23	0,37	Ngongi (115)
Peciolos	1,52-1,60	0,11	1,88-2,80	1,48-1,52	0,22-0,30		Ngongi (115)
Raíces (peladas)	0,35-0,70	0,05-0,07	0,67-0,80	0,04	0,03-0,05	0,06	Ngongi (115)
Láminas foliares	4,5 -6,5	0,2 -0,5	1,0 -2,0	0,75-1,5	0,25-1,0		CIAT (28)
Láminas foliares	4,9 -5,6	0,25-0,27	1,5- 1,8	0,6 -0,7	0,22-0,23	0,34-0,37	CIAT (29)
Peciolos	1,4 -1,6	0,12-0,13	2,2 -3,3	1,2 -1,5	0,30-0,41	0,13-0,14	CIAT (29)
Láminas foliares	1,76-2,63	0,21-0,41	1,62-2,38	0,49-3,18	0,24-0,31		Edwards & Kang (59)
Láminas foliares superiores						0,34-0,40	CIAT (33)
Láminas foliares medias						0,33-0,36	CIAT (33)
Láminas foliares inferiores						0,28-0,31	CIAT (33)
Peciolos superiores						0,13-0,17	CIAT (33)
Peciolos medios						0,01-0,03	CIAT (33)
Peciolos inferiores						0,01-0,07	CIAT (33)

Cuadro 6. Concentraciones de micronutrientes en varias partes de la planta de yuca según diferentes investigadores.

Parte de la planta	B	Zn	Mn ($\mu\text{g/g}$)	Cu	Fe	Fuente
Raíces		10,5-63,2	4,2-10	2,1-8,4	13,2-74,2	Muthuswamy et al. (113)
Raíces		28,2	6,1	3,3	34,2	Muthuswamy et al. (113)
Raíces (peladas)		204	273	20	152	Albuquerque (6)
Hojas + ramas			262		72	Kanapathy (92)
Tallos			65		45	Kanapathy (92)
Raíces			10		17	Kanapathy (92)
Láminas foliares					330	CTCRI (25)
Pecíolos					90-100	CTCRI (25)
Láminas foliares				14		Chew et al. (40)
Raíces				7		Chew et al. (40)
Hojas			150		140	Pages (135)
Láminas foliares	15-40	40-100	50-150	6-12	100-200	CIAT (28)
Parte aérea total	15-150*					Forno (65)
Láminas foliares		27-75	76-248		181-265	Edwards & Kang (59)
Láminas foliares		31,7-45,0				CIAT (32)

* Rango de deficiencia de B a toxicidad por B en plantas pequeñas

B- altura reducida de la planta, entrenudos y pecíolos cortos, hojas jóvenes pequeñas y deformes; manchas púrpura-gris en las hojas completamente extendidas; exudación pegajosa en el tallo y los pecíolos; reducción del desarrollo lateral de la raíz

Cu- deformación y clorosis uniforme de las hojas superiores, enrollamiento hacia arriba de las puntas y los márgenes de las hojas; pecíolos largos y pendientes en las hojas completamente extendidas; crecimiento reducido de la raíz

Fe- clorosis uniforme de las hojas superiores y de los pecíolos, los cuales se vuelven blancos en condiciones severas; crecimiento reducido de la planta; hojas jóvenes pequeñas pero no deformes

Mn- clorosis intervenal de las hojas superiores o intermedias; clorosis uniforme en condiciones severas; crecimiento reducido de la planta; hojas jóvenes pequeñas pero sin deformación

Zn- manchas intervenales amarillas o blancas en las hojas jóvenes, las cuales se estrechan y desarrollan clorosis en el ápice vegetativo en condiciones severas; manchas necróticas de las hojas inferiores; crecimiento reducido de la planta

Toxicidades

Al- reducción de la altura de la planta y del crecimiento de la raíz; amarillamiento de las hojas viejas bajo condiciones severas

B- manchas necróticas en las hojas viejas, especialmente a lo largo de los márgenes foliares

Mn- amarillamiento de las hojas viejas con puntos de color púrpura-pardo a lo largo de las nervaduras; las hojas se tornan flácidas y caen al suelo

Los síntomas de deficiencia de macronutrientes en concentraciones de solución son mucho menores en la yuca que en otros cultivos, tales como el maíz, el girasol y la soya (58). Estos síntomas de deficiencia en la yuca generalmente se presentan sólo cuando el crecimiento de la planta se reduce severamente. Edwards et al. (58) y Spear et al. (159) indicaron que la yuca posee una baja movilidad del floema, lo que da como resultado una lenta redistribución de los nutrientes en la planta. Así, cuando la disponibilidad de nutrientes es inadecuada, la yuca disminuye su tasa de crecimiento en relación con la disminución en las tasas de absorción de nutrientes; de esta manera se minimiza la retranslocación de nutrientes desde el tejido viejo hacia el nuevo, y el desarrollo de síntomas de deficiencia en el tejido viejo. Spear et al. (160) observaron un gradiente menor en la concentración de K desde las hojas jóvenes hacia las hojas viejas de yuca en comparación con el maíz y el girasol. Forno (65) encontró que la yuca producía sólo síntomas leves de deficiencia de N a bajas concentraciones de N en solución, mientras que el maíz, el sorgo y el algodón presentaban síntomas severos. Por otra parte, el crecimiento de la yuca se reducía notoriamente. Esto coincide con observaciones realizadas en el

CIAT (104) que indican que la yuca con deficiencia de N presenta crecimiento reducido en lugar de síntomas de deficiencia.

Análisis del suelo y de la planta

La ausencia de síntomas claros de deficiencia de macronutrientes en la yuca indica que los problemas nutricionales pueden pasarse por alto fácilmente. Esta puede ser la razón por la cual la yuca tiene la reputación de no "necesitar" un suelo fértil. También significa que los análisis de suelo y planta se hacen más importantes para determinar el estado nutricional de la planta. El muestreo del suelo y su análisis antes de la siembra hace posible el diagnóstico y corrección de los problemas nutricionales antes de que ellos afecten el crecimiento de la planta. En varios boletines del gobierno se describen los métodos adecuados de muestreo del suelo. Es muy importante estandarizar las técnicas de muestreo de las plantas ya que las concentraciones de nutrientes varían entre las partes de la planta y cambian con la edad de la misma. Se selecciona un tejido indicador, del cual se obtiene una muestra en la época en que mejor indica el estado nutricional de la planta. Spear et al. (159) encontraron que las hojas más jóvenes completamente extendidas (HJCE)—p. ej., la cuarta o quinta hojas desde arriba—eran las más sensibles al cambio en las concentraciones de K de la solución nutritiva, mientras que Howeler (80) recomendó el análisis de las láminas de las HJCE para la determinación de N, P, S y los elementos menores y los peciolo de las HJCE para el K, Ca y Mg. Howeler (80) también recomendó el muestreo del tejido de la planta aproximadamente 3 meses después de la siembra, en la época de tasa máxima de crecimiento, o tan pronto como la planta comienza nuevamente su crecimiento vigoroso después de un período de crecimiento retardado debido a la sequía o a las bajas temperaturas.

Con el objeto de ayudar en la interpretación de los resultados analíticos, muchos investigadores han determinado la relación entre el crecimiento de la planta (o rendimiento) y el contenido de nutrientes del suelo o de cierto tejido indicador de la planta. Los requerimientos nutricionales de la planta se registran generalmente en términos de "concentraciones críticas", o sea, la concentración de un nutriente en el suelo o en el tejido de la planta por debajo de la cual la planta responderá a la aplicación de ese nutriente y por encima de la cual no se espera ninguna respuesta. Generalmente se define como la concentración que corresponde a un 90-95% del rendimiento máximo. En forma similar, la disponibilidad excesiva de un elemento se determina por medio de la concentración crítica para toxicidad, la cual es aquella concentración por encima de la cual disminuye el crecimiento de la planta debido a la absorción excesiva de ese elemento.

Las concentraciones críticas se determinan generalmente mediante el cultivo de plantas en solución nutritiva, en cultivo de arena o en el campo con una concentración o cantidad variada de cierto nutriente. Aunque se considera que la concentración crítica es una característica bastante constante de la especie o del cultivar, Spear et al. (162, 163) demostraron que en la yuca la concentración crítica de K era mucho más alta cuando se determinaba en soluciones nutritivas de concentración constante de K (cultivo fluyente) que en las de concentraciones en disminución, debido al agotamiento del K en cultivos en solución convencional. Utilizando el mismo cultivar (H-97), Kumar et al. (96) obtuvieron

una concentración crítica de K de 1,8% durante la estación de 1967-68 pero sólo 0,9% en la estación de 1968-69; así, las concentraciones críticas pueden variar debido a diferentes suelos y condiciones climáticas. Además, las concentraciones críticas que se determinan con base en las curvas de respuesta de crecimiento de la planta no corresponden necesariamente a las que se determinan con base en las curvas de respuesta de rendimiento de raíces, ya que el crecimiento máximo de la planta puede dar como resultado un follaje excesivo y reducidos rendimientos de raíces. No obstante, aunque las concentraciones críticas varían algunas veces según el método utilizado para su determinación y el cultivar que se utilice, constituyen un parámetro de gran utilidad para determinar el estado nutricional de la planta.

Las concentraciones críticas en suelos para la yuca se han determinado sólo para algunos pocos elementos y su utilidad es limitada debido a la gran diversidad que existe en los métodos de análisis del suelo (Cuadro 7). Se necesita urgentemente más información acerca de estas concentraciones así como una mayor estandarización en los métodos analíticos debido a que las recomendaciones de fertilización se basan, en última instancia, en el análisis del suelo y actualmente se dispone de poca información para la interpretación de los resultados.

Cuadro 7. Niveles críticos de parámetros del suelo para la yuca.

Parámetro	Nivel	Método de análisis*	Fuente
pH	4,6 y 7,8	1:1 proporción suelo/agua	CIAT (30, 32)
Al	2,5 meq/100 g	1 N KCl	Howeler (80)
Sat. Al	80%	Al/(Al + Ca + Mg + K)	CIAT (32)
P	7 µg/g	Extracto Bray I	Howeler (80)
	10 µg/g	Extracto Bray II	Howeler (80)
	8 µg/g	Extracto Olsen-EDTA	Howeler (80)
	9 µg/g	Extracto de Carolina del Norte	Howeler (80)
K	0,15 meq/100 g	NH ₄ -acetato	Obigbesan (130)
	0,09-0,15 meq/100 g	NH ₄ -acetato	Obigbesan (130)
	60 µg/g	Extracto de Carolina del Norte	Howeler (80)
	0,06 meq/100 g	—	Roche et al. (140)
Ca	0,25 meq/100 g	NH ₄ -acetato	CIAT (32)
Conductividad	0,5-0,7 mmhos/cm	Extracto de saturación	CIAT (30)
Sat. Na	2,5%	NH ₄ -acetato	CIAT (30)
Zn	1,0 µg/g	Extracto de Carolina del Norte	Howeler (80)
Mn	5-9 µg/g	Extracto de Carolina del Norte	Howeler (80)
SO ₄ -S	≈ 8 µg/g	—	Ngongi et al. (116)

- * BRAY I = 0,025 N HCl + 0,03 N NH₄F
 BRAY II = 0,1 N HCl + 0,03 N NH₄F
 Olsen-EDTA = 0,5 N Na HCO₃ + 0,01 M Na-EDTA
 Carolina del Norte = 0,05 N HCl + 0,025 N H₂SO₄
 NH₄-acetato = 1 N NH₄-acetato a pH 7

Para los propósitos de diagnóstico, el parámetro más importante es probablemente el pH del suelo, ya que éste determina la disponibilidad de muchos nutrimentos esenciales para la planta. En suelos muy ácidos, puede haber deficiencia de P, Ca, Mg, Cu, Zn y Mo, mientras que el Mn, el Fe y el Al pueden presentarse en exceso. A pH alto, por otra parte, puede existir deficiencia de P, K, Fe, Mn, B y Zn (109).

En el Cuadro 8 se resume la literatura que informa acerca de las concentraciones críticas de nutrimentos en el tejido de yuca. En general, se puede concluir que no es probable una respuesta a la fertilización cuando las láminas de las HJCE contienen más de 5,0% de N,

Cuadro 8. Concentraciones críticas de nutrimentos para deficiencias y toxicidades en el tejido de la planta de yuca.

Elemento	Tejido de la planta	Concentración*	Fuente
Def. de N	Láminas de HJCE**	5,1 %	Fox et al. (67)
	Parte aérea***	4,2 %	Forno (65)
	Láminas de HJCE	5,7 %	Howeler (80)
	Láminas de HJCE	4,65%	CIAT (30)
Def. de P	Parte aérea	0,47-0,66%	Jintakanon et al. (88)
	Láminas de HJCE	>0,44%	CIAT (31)
Def. de K	Láminas de HJCE	1,1 %	Spear et al. (162)
	Pecíolos de HJCE	0,8 %	Spear et al. (162)
	Tallos	0,6 %	Spear et al. (162)
	Parte aérea y raíces	0,8 %	Spear et al. (162)
	Láminas de HJCE	1,2 %	Howeler (80)
	Pecíolos de HJCE	2,5 %	Howeler (80)
Def. de Ca	Parte aérea	0,4 %	Forno (65)
Def. de Mg	Parte aérea	0,26%	Edwards & Asher (60)
	Láminas de HJCE	0,29%	Edwards & Asher (60)
Def. de S	Láminas de HJCE	0,32%	Howeler (80)
Def. de Zn	Láminas de HJCE	60µg/g	CIAT (30)
	Láminas de HJCE	37-51µg/g	CIAT (31)
	Láminas de HJCE	43-60µg/g	Edwards & Asher (60)
Def. de B	Parte aérea	17µg/g	Forno (65)
Tox. de B	Parte aérea	140µg/g	Forno (65)
Def. de Mn	Parte aérea	100-120µg/g	Edwards & Asher (60)
Tox. de Mn	Parte aérea	250-1450µg/g	Edwards & Asher (60)
Tox. de Al	Parte aérea	70->97µg/g	Gunatilaka (74)
	Raíces	2000-14000µg/g	Gunatilaka (74)

* El intervalo corresponde a valores obtenidos con diferentes cultivares

** HJCE = hojas más jóvenes completamente extendidas

*** Parte aérea total de plantas pequeñas (4-6 semanas)

0,4% de P, 1,2% de K, 0,7% de Ca, 0,3% de Mg, 0,32% de S, 17 $\mu\text{g/g}$ de B, 8 $\mu\text{g/g}$ de Cu, 100 $\mu\text{g/g}$ de Fe, 100 $\mu\text{g/g}$ de Mn y 60 $\mu\text{g/g}$ de Zn. Se puede sospechar la presencia de una toxicidad cuando las partes aéreas de la planta contienen más de 140 $\mu\text{g/g}$ de B, 100 $\mu\text{g/g}$ de Al y 1000 $\mu\text{g/g}$ de Mn.

Técnicas para diagnosticar problemas nutricionales

Los problemas nutricionales se pueden diagnosticar frecuentemente mediante la aplicación de un rango de nutrimentos ya sea al suelo o al tejido de la planta, seguida por una observación de cuáles elementos causan la desaparición de los síntomas o la recuperación del crecimiento de la planta. El elemento que causa el problema se puede identificar rápidamente si se pintan las hojas o las partes foliares que muestran síntomas con un rango de nutrimentos en solución, observando la desaparición de tales síntomas. Las técnicas de adición de nutrimento y de elemento faltante en los experimentos de fertilidad del suelo son variaciones de la misma técnica de diagnóstico.

REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES EXTERNOS

El requerimiento nutricional externo es aquella concentración en el medio radical que corresponde al rendimiento casi máximo. Esencialmente equivale a la concentración crítica en la solución nutritiva o del suelo. Los requerimientos externos de la yuca en solución nutritiva se han determinado principalmente en la Universidad de Queensland en unidades de cultivo en solución nutritiva fluyente en los cuales el pH y la temperatura, así como la concentración de nutrimentos en solución, se controlan cuidadosamente, evitando los cambios en la concentración causados por la absorción de la planta (13, 14). Utilizando esta técnica, Forno (65) determinó los requerimientos externos para NO_3 y $\text{NH}_4\text{-N}$; Jintakanon et al. (88) determinaron los requerimientos externos de P, y Spear et al. (159; 160) determinaron los requerimientos de K; Islam et al. (87), Gunatilaka (74) y Edwards & Asher (60) determinaron el efecto del pH, el Al y el Mn sobre el crecimiento de la yuca, respectivamente. Gran parte de este trabajo, compilado por Edwards & Asher (60) y Asher (13), se resume en el Cuadro 9.

El requerimiento externo para $\text{NO}_3\text{-N}$ fue casi diez veces mayor que el de $\text{NH}_4\text{-N}$, y los cultivares con un alto requerimiento de NO_3 también tenían un alto requerimiento de NH_4 (65). Los requerimientos de $\text{NH}_4\text{-N}$ fueron similares a los de la soya, maíz y girasol, pero los requerimientos de $\text{NO}_3\text{-N}$ de 8 de un total de 11 cultivares de yuca fueron más altos que los de otras especies.

En solución nutritiva (88) la yuca tuvo un requerimiento de P mucho mayor (28-78 μM = 0,90-2,5 $\mu\text{g/ml}$) en comparación con la soya (0,58 μM = 0,018 $\mu\text{g/ml}$), el algodón (0,67 μM = 0,021 $\mu\text{g/ml}$) y el maíz (1,0 μM = 0,031 $\mu\text{g/ml}$). Debido a que la baja concentración de P en solución afectó el crecimiento de la raíz en menor grado que el crecimiento de la parte aérea, Edwards et al. (58) sugieren que el requerimiento de P para el engrosamiento de las raíces puede ser más bajo que el necesario para el crecimiento de la parte aérea. Esto concuerda con los informes del CIAT (31, 32) acerca de que el índice de cosecha disminuyó con las mayores aplicaciones de P y que se necesitaron mayores tasas de P para

Cuadro 9. Concentración (μM) de nutrientes en solución correspondiente a diferentes estados nutricionales de la yuca (13) y requerimiento nutricional externo (60, 63, 88).

Elemento	Deficiencia	Adecuada	Tóxica	Requerimiento externo*
$\text{NO}_3\text{-N}$	≤ 500	>2500 (2)		3400-4650 (11)**
$\text{NH}_4\text{-N}$	≤ 30	> 120 (2)		26- 420 (11)
P	≤ 12	> 50		28- 78 (12)
K	$\leq 3\text{-}100$	$> 10\text{-}125$		4- 65 (12)
Ca	≤ 10	> 100 (2)		65- 450 (2)
Mg				28- 320 (2)
Al			$> 20\text{-}80$	

* Concentración externa correspondiente a un 95% de la producción máxima de MS

** Intervalo de valores observados en el número de cultivares presentado entre paréntesis

obtener rendimientos máximos de la parte aérea, que para obtener rendimientos máximos de raíces (31). Jintakanon (comun. pers.) encontró que cuando se cultivaba la yuca en el suelo, ésta alcanzaba el crecimiento máximo a la misma concentración de P en la solución de suelo ($2,5 \mu\text{M}$ de P = $0,077 \mu\text{g/ml}$) que el maíz y la soya. CIAT (32) informó acerca de un requerimiento externo de P para la yuca de $0,015\text{-}0,025 \mu\text{g/ml}$ en solución de suelo (determinado en $0,01 \text{ M CaCl}_2$ de acuerdo con el método de Fox & Kamprath, 68), mientras que el frijol (*Phaseolus vulgaris*) tiene un requerimiento de $0,08 \mu\text{g/ml}$ (31) y el maíz $0,06 \mu\text{g/ml}$ (69). En forma similar, vander Zaag et al. (172) obtuvieron un requerimiento de P de $0,05 \mu\text{g/ml}$ para la yuca cultivada en Hawaii; también reportaron valores de $0,006$ y $0,04 \mu\text{g/ml}$ obtenidos en Malasia y Nigeria.

El bajo requerimiento de P del cultivo en el suelo, en comparación con el necesario en solución nutritiva, puede deberse a una asociación efectiva de micorrizas bajo condiciones naturales del suelo. El IITA ha demostrado recientemente que a bajas concentraciones de P en la solución del suelo, los rendimientos totales de MS de las plantas de yuca con micorrizas duplicaban los de las plantas sin micorrizas B.T. Kang, com. pers., 1978). Howeler et al. (81) obtuvieron resultados similares e informaron que la inoculación micorrizal de la yuca cultivada en un suelo esterilizado aumentaba la producción de MS hasta tres veces y la absorción total de P hasta siete veces, a niveles intermedios de aplicación de P. En un suelo no esterilizado, la inoculación presentó un efecto mucho menor, aumentando la producción de MS y la absorción de P hasta aproximadamente un 50%.

El marcado efecto de la inoculación en un suelo esterilizado indica que la yuca depende mucho de una asociación micorrizal eficaz para la absorción de P de suelos de bajo contenido de este elemento. Parece que las hifas de micorrizas que se extienden desde la raíz hacia el suelo absorben P del suelo situado fuera de la zona de agotamiento que rodea cada raíz, y transporta este P hacia la raíz. Las hifas por lo tanto funcionan como una

Los nutrimentos rara vez reaccionan independientemente, sino que interactúan. Así, Howeler et al. (79) y Edwards & Kang (59) demostraron que el encalamiento excesivo inducía una deficiencia de zinc y reducía los rendimientos de la yuca. Spear et al. (161) demostraron que las altas concentraciones de K en solución reducían la absorción de Ca y de Mg, mientras que Ngongi et al. (116) informaron que las altas tasas de KCl daban como resultado una severa deficiencia de S en la yuca cultivada en el campo. Por lo tanto, el nivel adecuado de fertilización, así como el balance correcto de nutrimentos aplicados, son de suma importancia.

Fertilización con Nitrógeno

El nitrógeno es un componente básico de la proteína, la clorofila, las enzimas, las hormonas y las vitaminas. También es un elemento constitutivo de los glicósidos cianogénicos linamarina y lotaustralina, los cuales producen ácido cianhídrico (HCN) cuando las células sufren daño. El HCN es el componente amargo, altamente tóxico de las hojas, los tallos y las raíces de yuca, el cual se debe eliminar antes del consumo mediante secamiento o cocción de las raíces (125).

La yuca extrae cantidades relativamente grandes de N del suelo, especialmente si se remueven las hojas y los tallos junto con las raíces; se extraen aproximadamente 57 kg de N/ha en un rendimiento de 25 t de raíces/ha. Si se calcula la recuperación de N aplicado aproximadamente en un 50% (43-69% de acuerdo con Fox et al., 67), es necesario reintegrar cerca de 115 kg de N al suelo para mantener su fertilidad.

La deficiencia de nitrógeno es más común en suelos arenosos o muy ácidos, donde un bajo pH o niveles tóxicos de Al y/o Mn pueden disminuir la descomposición microbiana de la materia orgánica; también es común en los suelos de ceniza volcánica. Aunque estos suelos poseen normalmente una cantidad considerable de materia orgánica, la descomposición es lenta y no contribuye mucho al suministro de N.

En Madagascar, unos investigadores (8, 9) recomendaron la incorporación de estiércol o abono verde como *Mucuna utilis*, *Vigna* o *Crotalaria*. Sin embargo, *Crotalaria* es muy susceptible a los suelos ácidos y no produce bien a un pH por debajo de 5 (28). Cuando Nitis & Sumatra (118) cultivaron la yuca intercalada con *Stylosanthes guyanensis*, en Bali, obtuvieron un aumento del rendimiento de 17% en comparación con la yuca en monocultivo. Nitis (119) indicó que *Stylosanthes* intercalado proporcionó aproximadamente 9 kg de N/ha a la yuca; cuando se fertilizó con P, K y micronutrientes, la leguminosa proporcionó aproximadamente 72 kg de N/ha. CIAT (32), sin embargo, reportó una disminución en el rendimiento de la yuca debido a la asociación con leguminosas, incluyendo *Stylosanthes*, causada por la competencia de la luz y/o el agua. Durante 1979, la reducción del rendimiento de la yuca debido a la asociación con varias leguminosas varió desde 1 hasta 68%; con *Canavalia gladiata* se produjo la competencia más severa (33). CTCRI (26) también informó acerca de disminuciones en el rendimiento de la yuca cuando se intercaló con otros cultivos.

De Geus (50), Kumar et al. (97) y Mandal et al. (107) indicaron que la yuca responde bien a las aplicaciones de estiércol, especialmente cuando éste se fortificó con algunos fertilizantes químicos (26). En el sur de la India se obtuvo un aumento del 66% en el rendimiento mediante la aplicación de 15 t de estiércol/ha (22). El Departamento de Agricultura de Zanzibar, Tanzania (10) informó una duplicación del rendimiento de 19 a 36,5 t/ha con la aplicación de 22,6 t de FYM/ha, mientras que con $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ó KCl no se obtuvieron aumentos. En la Costa de Marfil, Botton & Perraud (19) obtuvieron el 21% de aumento en el rendimiento mediante el uso de estiércol, y un aumento de 5-10% con la aplicación de aguas negras. Lambourne (99) obtuvo mejores resultados con estiércol (10 t/ha) que con fertilizantes químicos o con abonos verdes (Escorias Thomas y *Crotalaria*).

En Ultisoles en Puerto Rico, Fox et al. (67) no obtuvieron respuesta a la aplicación de N en un suelo que tenía un 0,23% de N, pero obtuvieron una respuesta significativa con 120 kg de N/ha en un suelo que tenía 0,17% de N. En Costa Rica, Schmitt (148) recomendó la aplicación de 60-70 kg de N además de 26-30 kg de P y 108 kg de K/ha. En el mismo país, Acosta y Pérez (1) obtuvieron una respuesta del rendimiento con 50 kg de N/ha, con una disminución del rendimiento a tasas más altas. Tarazona et al. (169) obtuvieron una respuesta positiva con 50-60 kg de N/ha en 16 de un total de 23 ensayos en tierras de agricultores en Colombia. La mayor respuesta se obtuvo en suelos de ceniza volcánica cerca de Popayán. En Oxisoles de los Llanos de Colombia, en una siembra antes de la época de sequía, CIAT (30) obtuvo una respuesta no significativa a 100 kg de N/ha; pero en el mismo suelo durante la estación lluviosa, se obtuvo una respuesta significativa a 100 kg de N/ha como urea y a 200 kg de N/ha como urea revestida con azufre (26). En suelos similares, Ngongi (115) obtuvo una respuesta con 100 kg de N/ha pero solamente en presencia de 125 kg de K/ha; y una aplicación de 200 kg de N/ha redujo el rendimiento. En suelos de ceniza volcánica en Colombia, Rodríguez (141) obtuvo los mayores rendimientos con 145 kg de N en combinación con 85 kg de P y 38 kg de K/ha. En Brasil no se obtuvo una respuesta significativa al N ni en Río de Janeiro (127) ni en Bahía (71), y tampoco se observó respuesta al N en São Paulo (151); en suelos de escasa fertilidad en Goiás, Normanha (123) recomendó la aplicación de sólo 20 kg de N/ha.

En el oeste de Nigeria, Amon & Adetunji (7) recomendaron aproximadamente 25 kg de N en combinación con 50 kg de K/ha, mientras que Obigbesan & Fayemi (129) obtuvieron altos rendimientos de 56 y 64 t/ha en 15 meses, con la aplicación de 60 y 90 kg de N/ha, respectivamente. En Ghana, Stephens (164) informó sobre una respuesta principalmente al P, así como una ligera respuesta a 25 kg de N/ha. En el mismo país, Takyi (166) obtuvo un aumento de rendimiento del 50% mediante la aplicación de 60 kg de N y 20 kg de P/ha, mientras que no se observó respuesta al K ni a la cal. Sin embargo, en un suelo sin arar en Otokpe, Takyi (167) obtuvo una respuesta casi lineal al N hasta 134 kg/ha, la cual duplicó los rendimientos de 12 a 24 t/ha. La fuerte respuesta al N se obtuvo en una localidad donde seis cultivos de maíz habían precedido a la yuca. En Madagascar, la yuca respondió principalmente al K, pero se recomendó una aplicación de 30-60 kg de N/ha (8, 50).

En suelos ácidos lateríticos del Estado de Kerala, India, Mandal et al. (106) obtuvieron los mayores rendimientos con 100 kg de N/ha, la mitad aplicada en el momento de la

siembra y la otra mitad a los dos meses. En el mismo país, Saraswat & Chattiar (147) obtuvieron respuesta hasta con 150 kg de N/ha; sin embargo, la tasa más económica fue de 100 kg de N/ha, aplicado en forma de nitrato de amonio cálcico. CTCRI informó que en el Estado de Kerala, la yuca respondió principalmente a la aplicación de N a la tasa de 50-100 kg/ha. La aplicación de la mitad del N por aspersión foliar aumentó la eficiencia de utilización (22-25). La aplicación de N no tuvo ningún efecto significativo sobre el número de raíces pero aumentó el tamaño de la raíz; también aumentó significativamente el contenido de HCN y de proteína de las raíces, mientras que tuvo poco efecto en el contenido de MS y de almidón (24-27).

En Tailandia, donde la yuca se cultiva principalmente en suelos podzólicos grises o rojo-amarillos de acidez moderada (pH 5) y bajo contenido de materia orgánica (<2%), el cultivo respondió principalmente a la aplicación de N (50-100 kg/ha). En 135 ensayos con NPK, la magnitud promedio de respuesta a la fertilización varió entre 12 y 52% en 6 series de suelos (156). En suelos de turba ácida de Malasia, Chew (37, 39) observó que los rendimientos de la yuca aumentaban más con la aplicación de N (180 kg/ha). Kanapathy (92) indicó que en suelos similares el cultivo continuo de la yuca era posible mediante la aplicación de 120 kg de N y 75 kg de K/ha/cultivo. En Indonesia (Java), la yuca no respondió a la aplicación de N (93) sino principalmente al K; por lo tanto, den Doop (53, 54) no recomendó la aplicación de N. Más recientemente, sin embargo, Hadi & Gozallie (75) recomendaron la aplicación de 90 kg de N/ha en combinación con 13 kg de P/ha y 0-42 kg de K/ha en tres localidades en Java.

En Kuala Lumpur, Cheing (36) obtuvo los mayores rendimientos en la producción de follaje de yuca, con la aplicación de 150 kg de N/ha, además de 30 kg de P, 150 kg de K y 20 kg de Mg/ha. Bajo estas condiciones, Cheing pudo cosechar 43 t de MS del follaje y aproximadamente 10 t de proteína/ha/año mediante el corte de las plantas cada 3 semanas a una altura de 50 cm. En Serdang, Malasia, Ahmad (4) obtuvo rendimientos de raíces extremadamente altos de 78 t/ha/año con una aplicación basal de 90 kg de N, 29 kg de P y 98 kg de K/ha y una aplicación adicional de 34 kg de N/ha a los 6 meses. Las mismas tasas de fertilización dieron la mayor producción de partes aéreas, con 5 cortes sucesivos entre los 3 y 12 meses para la producción de forraje; sin embargo, esta práctica redujo los rendimientos de raíces en aproximadamente un 50%.

Muchos investigadores (22, 23, 144, 145) no encontraron diferencias significativas entre fuentes de N tales como la urea, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y NaNO_3 , aunque en la India se encontró que el nitrato de amonio cálcico era superior a la urea, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ y NaNO_3 , probablemente debido a su alto contenido de Ca (21). La urea revestida con azufre no se encontró superior a la urea común en Colombia (28), Puerto Rico (67) y Nigeria (3). La aplicación de varios fertilizantes de liberación lenta no dio como resultado rendimientos significativamente mejores que una aplicación fraccionada de urea (120).

Muchos investigadores (1, 67, 115, 129, 170) han informado acerca de una respuesta negativa de la yuca a la aplicación alta de N, lo cual produce mucho follaje y pocas raíces. Krochmal & Samuels (95) registraron una disminución del 41% en el rendimiento de raíces y un aumento del 11% en el crecimiento de la parte aérea, debido a las altas

aplicaciones de N. Vijayan & Aiyer (170) notaron una disminución en el número de raíces engrosadas, así como en el contenido de almidón, con aplicaciones de N superiores a 75 kg/ha. Por otra parte, de Jong (89) observó que la fertilización tenía poca influencia en el contenido de MS y por lo tanto en el contenido de almidón. Varios investigadores (26, 27, 97, 114, 129, 170) informaron acerca de aumentos en el contenido de HCN debido a las altas aplicaciones de N. Aparentemente, las elevadas aplicaciones de N estimulan la formación de productos nitrogenados tales como proteína y glicósidos cianogénicos e inhiben la síntesis del almidón (51, 105). Sinha (153) no encontró correlación entre el contenido de HCN en las hojas y el de las raíces. Por lo tanto, concluyó que las zonas de metabolismo del HCN son diferentes para estas dos partes de la planta y sugirió que se aplique el N foliarmente con el objeto de disminuir el alto contenido de HCN de las raíces, asociado con aplicaciones altas de N al suelo.

Fósforo

El P es un componente básico de las nucleoproteínas, los ácidos nucleicos y los fosfolípidos, así como de todas las enzimas involucradas en el transporte de energía. El P es esencial para ciertos procesos tales como la fosforilación, la fotosíntesis, la respiración, la descomposición y la síntesis de los carbohidratos, proteínas y lípidos. Malavolta et al. (105) registraron una disminución de 32 a 25% en el contenido de almidón de las raíces de yuca cuando se eliminó el P de la solución nutritiva. Muthuswamy et al. (114) encontraron que la aplicación de P no tuvo efecto en el contenido de HCN de las raíces. Utilizando una técnica de cultivo de arena, Krochmal & Samuels (95) observaron que de los tres macronutrientes (NPK), la aplicación de P tuvo el mayor efecto sobre el rendimiento. Ellos notaron sólo una leve reducción del crecimiento de la planta en ausencia del P pero no se desarrollaron síntomas de deficiencia de P. CIAT (30) indicó que en ausencia de P, la producción total de MS se redujo a un 10% de lo normal, pero que no se podía observar síntomas de deficiencia. Asher (12) también informó que era necesaria una reducción de más del 70% en la producción total de MS para que las plantas de yuca desarrollaran síntomas de deficiencia. Edwards et al. (58) encontraron que la yuca posee un requerimiento extremadamente alto de P, y necesita de 50-127 μM de P para alcanzar el crecimiento máximo, mientras que el maíz requiere 3 μM y la soya 0,7 μM . A la menor concentración de P en solución (0,05 μM), la yuca logró sólo un 18% de su rendimiento máximo (promedio de 12 cultivares), mientras que el maíz y la soya lograron, respectivamente, un 21 y un 34% de sus rendimientos máximos. Los síntomas de deficiencia de P en la yuca sólo se presentaron con concentraciones de P en las partes aéreas mucho menores que en el maíz y en la soya. Así, la yuca requiere altas concentraciones de P para el crecimiento máximo en solución, pero es capaz de ajustar su tasa de crecimiento a las condiciones de P bajo (58).

La deficiencia de fósforo es muy común en suelos ácidos, especialmente en aquellos que tienen niveles elevados de Fe y Al, tales como los Oxisoles, Ultisoles e Inceptisoles. Los Oxisoles y Ultisoles dominan en el Campo Cerrado de Brasil, los Llanos Orientales de Colombia, los Llanos de Venezuela y en extensas áreas de África tropical. En Asia, los Ultisoles son comunes en Malasia, en partes de India e Indonesia. La deficiencia de P y su

fijación extremadamente alta son características de muchos Inceptisoles tales como los de la Cordillera de los Andes (Andosoles) en América Central y del Sur, en partes de los Llanos de Colombia, a lo largo del Amazonas en Brasil, en Hawaii, Cambodia, India e Indonesia.

En Costa Rica, Acosta & Pérez (1) no observaron una respuesta al P en la yuca excepto cuando se aplicó también N. En suelos de ceniza volcánica de Colombia, Rodríguez (141) obtuvo rendimientos máximos con 85 kg de P/ha. Tarazona et al. (169) registraron una respuesta positiva con 131 kg de P/ha en 13 de un total de 14 ensayos en campos de agricultores localizados principalmente en suelos ácidos deficientes en P, en los departamentos de Cauca y Meta en Colombia. Ellos no encontraron mucha correlación entre la respuesta a la aplicación de P y el contenido de P disponible del suelo. En Oxisoles de los Llanos de Colombia, CIAT (30) obtuvo una respuesta altamente significativa a la aplicación de 87 kg de P/ha como superfosfato triple (SFT); cuando se utilizó Escorias Thomas o superfosfato simple (SFS), el cultivo respondió hasta con 175 kg de P/ha. La falta de P era el principal factor limitante de la yuca en estos suelos, y su aplicación aumentó los rendimientos de 7 a 25 t/ha. A bajos niveles de aplicación de P, tanto el rendimiento de follaje como el de raíces aumentaron; pero a niveles altos, el rendimiento de follaje aumentó en mayor proporción que el de raíces, lo que produjo una reducción en el índice de cosecha. Bajo las condiciones de Colombia, la aplicación de 87 kg de P/ha produjo la mayor rentabilidad neta; las Escorias Thomas fueron la fuente más económica de P (30). En el este del Perú (Tarapoto), Curva (49) obtuvo una respuesta significativa sólo con aplicaciones de P (52 kg/ha). En Brasil, Normanha (121, 123) encontró que el P era el principal nutrimento limitante para la yuca en los Estados de São Paulo y Goiás, donde recomendó la aplicación de 26-52 kg de P/ha, como harina de huesos o SFS. En suelos pobres y arenosos de São Paulo, Silva & Freire (152) no obtuvieron una respuesta significativa a P. En Río de Janeiro, Nunes et al. (127) reportaron un aumento de 86% en el rendimiento, con la aplicación de 17 kg de P/ha, siendo éste el elemento más limitante. El nivel de aplicación más económico fue 29 kg de P/ha. Siqueira (154) obtuvo un aumento en el rendimiento desde 7,7 hasta 24 t/ha con la aplicación de SFS en Bahía. También Santana & Carvalho (146) observaron una respuesta principalmente al P. En el estuario del Amazonas, Albuquerque (6) obtuvo rendimientos máximos con 44 kg de P/ha aplicados como SFS.

En el oeste de Nigeria, Amon & Adetunji (7) no recomendaron la utilización de P, mientras que en Ghana, Stephens (164) y Takyi (166) obtuvieron los más altos rendimientos con 10 y 20 kg de P/ha, respectivamente. Aunque la yuca respondió principalmente al K en Madagascar, se recomendó el empleo de 57 kg de P/ha (8, 50).

En el Estado de Kerala en la India, Vijayan & Aiyer (170) y CTCRI (22-24) observaron rendimientos más altos con 44-65 kg de P/ha en combinación con 100 kg de N y 83 kg de K/ha; las Escorias Thomas fueron la fuente más económica de P. En el mismo estado, Chadha (34) obtuvo un aumento de 25% en el rendimiento, con 35 kg de P/ha. En Tailandia, Hongsapan (77) registró los mayores rendimientos con 14-21 kg de P/ha, mientras que Sittibusaya & Kurmarohita (156) recomendaron la aplicación de 22-44 kg de P/ha para el nordeste de Tailandia y de 44-88 kg/ha para los suelos agotados del sudeste.



1

Respuesta a la fertilización con P en Carimagua, Colombia; en primer plano (izquierda) sin aplicación de P; al fondo (derecha) con aplicación de P.



2

Respuesta de la cv. M Aus 7 a P en cultivo de solución -nótese la reducción en el crecimiento debido a la deficiencia de P (izquierda), con ausencia de síntomas de deficiencia.



3

Deficiencia severa de P en la cv. M Aus 10 como lo indica el amarillamiento de las hojas inferiores.



4 *Respuesta a la fertilización con K en Carimagua, Colombia; (derecha) sin K, (izquierda), con 125 kg K/ha aplicado.*



5 *Clorosis internerval de las hojas más bajas debido a la deficiencia de Mg.*



6 *Deficiencia de Boro, como lo indican las manchas cloróticas finas en las hojas.*



7 *Manchas internervales y deformación de hojas jóvenes debido a la deficiencia de Zn.*



8 *Plantas de la variedad MMex 23 mostrando amarillamiento severo causado por deficiencia de Zn (Carimagua, Colombia).*



9

Sintomas de deficiencia de Mn en las hojas variando desde deficiencia severa (izquierda) hasta normal (derecha).



Deficiencia de cobre en la cv. M Aus 10.



11

La variedad M Col 22 (izquierda) muestra tolerancia a la salinidad de la tierra, mientras la cv. M Ven 290 (derecha) muestra susceptibilidad severa.

Chew (39) recomendó 22 kg de P/ha para los suelos de turba de Malasia, aunque Kanapathy (92) no observó una respuesta al P en estos suelos.

Las fuentes de P más comúnmente utilizadas son el superfosfato simple y el triple. Las Escorias Thomas son tan eficientes como el SFT, especialmente en suelos ácidos, y donde se encuentra disponible, constituye generalmente una fuente más económica (23, 30). En suelos muy ácidos de los Llanos de Colombia, el SFT fue superior al SFS aplicado en bandas; las Escorias Thomas y las rocas fosfóricas incorporadas fueron también fuentes de alta eficiencia (30). La mezcla de rocas fosfóricas con azufre o ácido sulfúrico mejoró considerablemente la disponibilidad del P. Las rocas fosfóricas de diferentes partes del mundo varían considerablemente en la disponibilidad del P. La yuca respondió a su aplicación de acuerdo con la solubilidad al citrato de las fuentes de roca fosfórica ensayadas (76). Las rocas fosfóricas provenientes de Carolina del Norte, Moroco y Perú se contaron entre las mejores fuentes durante el primer año de cultivo (30), pero algunas fuentes menos solubles de Colombia, Tennessee y Florida fueron casi tan eficientes como aquellas en los años subsiguientes (31, 32).

Potasio

El K no es un componente básico de las proteínas, carbohidratos o lípidos, pero desempeña una función en su metabolismo. El K es esencial para la translocación de los carbohidratos desde las partes aéreas hacia las raíces (105), y un suministro inadecuado de este elemento a la yuca conduciría a una producción excesiva de las partes aéreas y poca producción de raíces (130). Blin (18) y Obigbesán (128) informaron que el K aumentaba el contenido de almidón y disminuía el contenido de HCN de las raíces, un efecto opuesto al del N. Muthuswamy et al. (114) y Kailasam et al. (90) no encontraron ningún efecto del P ni del K sobre el contenido de HCN de las raíces, pero CTCRI (26, 27) y Ashokan & Sreedharan (16) informaron que la aplicación de K y de cenizas de madera disminuían significativamente el contenido de HCN de las raíces. Por otra parte, Payne & Webster (136) encontraron un mayor contenido de HCN en las raíces provenientes de suelos deficientes en K que en las de suelos con suficiente K.

Asher et al. (15) y Krochmal & Samuels (94) informaron que la deficiencia de K se caracteriza principalmente por el crecimiento reducido de la planta y por una senescencia temprana de las hojas y pecíolos de mayor edad, los cuales caen prematuramente. Días (51) observó una ramificación excesiva en las plantas con deficiencia de K, mientras que Ngongi (115) informó que la deficiencia de K reducía el tamaño foliar, el número de lóbulos foliares, la retención foliar y la altura de la planta.

Debido a que una cosecha de raíces de yuca extrae más K que cualquier otro elemento del suelo (aproximadamente 102 kg de K/ha en 25 t de raíces), la deficiencia de K es común en los suelos en los cuales otros cultivos no responden a él, especialmente después de varios años de producción continua de yuca. En la mayor parte de los suelos arenosos se puede esperar una deficiencia de K; por otra parte, muchos Andosoles de América del Sur tienen un contenido razonable.

En Puerto Rico, Samuels (144) obtuvo una respuesta a 83 kg de K/ha, mientras que Murillo (112) no encontró respuesta al K en los suelos lateríticos de Costa Rica. En Colombia se observó respuesta en 11 de un total de 14 ensayos en tierras de agricultores (169). Ngongi (115) obtuvo una respuesta significativa con 200 kg de K/ha en los Llanos Orientales y con 100 kg de K/ha en el Valle del Cauca. La alta aplicación de K redujo el contenido de Mg. Ngongi (115) también observó una fuerte interacción N x K en los Llanos, donde sólo se obtuvo una respuesta al N en presencia de K. En los mismos suelos, CIAT (30) registró rendimientos máximos con 133 kg de K/ha, pero la respuesta al K no fue tan notoria como la respuesta al P. En Brasil, Nunes et al. (127) no encontraron una respuesta significativa al K en Rio de Janeiro, mientras que en São Paulo y Goiás, Normanha (123, 124) recomendó la aplicación de 25-83 kg de K/ha. Silva & Freire (152) obtuvieron una respuesta significativa al K en suelos pobres y arenosos de São Paulo, pero Dias (51) afirmó que la deficiencia de K no es común en ese estado. En Bahía (70) se obtuvo una respuesta significativa solamente en 2 de 8 localidades experimentales, mientras que en los suelos de Cerrado de Minas Gerais (44-46) sólo se obtuvo una respuesta al nivel más bajo de aplicación (50 kg de K/ha). En el estuario del Amazonas, Albuquerque (6) obtuvo rendimientos máximos con 150 kg de K/ha.

En el este de Nigeria, Irving (86) reportó una respuesta al K en suelos livianos y ácidos. En el oeste de Nigeria, Amon & Adetunji (7) recomendaron la utilización de 50 kg/ha, mientras Obigbesan (130) no obtuvo una respuesta significativa a las aplicaciones de 50-75 kg de K/ha en 3 suelos diferentes. También informó que la fertilización con K no afectaba el contenido de MS de las raíces pero sí aumentaba la proporción raíz/parte aérea. En Ghana, Takyi (166) no encontró respuesta en un Ochrosol de la selva. En Madagascar, la deficiencia de K fue el principal factor limitante de la producción de yuca (140) y se recomendó aplicar 92 kg de K/ha (8, 9, 50). La aplicación de K aumentó significativamente el contenido de este elemento en el feloderma (48), pero disminuyó los contenidos de N y P.

En la India, Kumar et al. (96) y CTCRI (21, 22, 24) registraron una respuesta pequeña pero significativa a la aplicación de 83 kg de K/ha, y una respuesta negativa con niveles más altos (25). Chadha (34), sin embargo, obtuvo aumentos del rendimiento hasta de 75% con 133 kg de K/ha. Chadha observó una fuerte interacción de N x K y recomendó la aplicación de N y K en la proporción de 1 a 1,46. En suelos de turba de Malasia, el cultivo continuo de yuca era posible con la aplicación de 75 kg de K y 120 kg de N/ha (92). Chew (38) recomendó 92-133 kg de K/ha para estos suelos. En Indonesia, tanto Nijholt (117) como den Doop (53, 54) consideraron que el K constituía el primer nutriente limitante. Den Doop obtuvo una respuesta con 125 kg de K/ha en la primera siembra y un fuerte efecto residual a la aplicación de 250 kg de K/ha en la segunda y tercera siembra. Den Doop (55) también informó que la aplicación de K aumentaba la disponibilidad de P en el suelo y que durante la sequía disminuía la disponibilidad de K.

La deficiencia de K se controla generalmente mediante la aplicación de KCl o de K_2SO_4 aunque la aplicación de ceniza de madera, Singenita y Schoenita (las últimas dos fuentes se extraen del agua de mar) fue igualmente eficiente en el sur de la India (25, 26). En el Valle del Cauca de Colombia, KCl y K_2SO_4 fueron fuentes de K igualmente

eficientes; pero en los suelos de bajo contenido de S de los Llanos, K_2SO_4 ó KCl mezclados con azufre fueron superiores al KCl solo (116).

Calcio y magnesio

El Ca desempeña una función importante en la regulación del agua de la planta, mientras que el Mg es un componente de la clorofila y por lo tanto es esencial para la fotosíntesis.

La deficiencia de Ca en la yuca se presenta primordialmente como una reducción en el crecimiento de la raíz (15). Forno et al. (64) encontraron que la falta de Ca durante la propagación de la yuca en cámaras de nebulización daba como resultado un desarrollo muy pobre; esto se solucionó mediante la adición de $150 \mu M$ de Ca a la solución nebulizante (64). Spear et al. (161) informaron que una concentración de K en solución superior a $525 \mu M$ producía un crecimiento reducido de la planta debido a la deficiencia inducida de Ca y de Mg. Las elevadas concentraciones de K produjeron bajos contenidos de Ca y de Mg en las hojas. Ngongi (115) también informó acerca de una reducción en los contenidos de Ca y de Mg en las hojas debido a las aplicaciones altas de K pero encontró que la suma de cationes en las láminas foliares y pecíolos permanecía bastante estable a los diferentes niveles de fertilización de K. En forma inversa, Spain et al. (158) registraron una disminución en los niveles de K en las hojas con altas aplicaciones de cal, pero Edwards & Kang (59) observaron poco cambio en los contenidos de K y de Mg en las hojas con el encalamiento, mientras que el contenido de Ca aumentó de 0,49 a 3,18%. Solorzano & Bornemisza (157) informaron que la yuca absorbía casi tres veces más Ca que Mg, la mayor parte del cual se acumulaba en la parte aérea y retornaba al suelo cuando se cosechaban las raíces.

Las deficiencias de Ca y de Mg en la yuca son muy comunes en los Oxisoles y Ultisoles ácidos de escasa fertilidad, mientras que la deficiencia de Mg ha sido también observada en Colombia, en suelos de ceniza volcánica de bajo contenido de Mg y alto contenido de K (33).

La deficiencia de Ca se controla generalmente mediante la aplicación de cal, aunque también se puede utilizar el yeso, que es la fuente más soluble, especialmente en suelos con bajo contenido de azufre (33). La deficiencia de Mg se puede controlar mediante la aplicación de cal dolomítica, óxido de magnesio o sulfato de magnesio. En los Llanos de Colombia, Ngongi (115) obtuvo una respuesta significativa a la aplicación de 50 kg de Mg/ha en forma de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ó MgO, siendo el primero superior, probablemente debido a su contenido de S y a su mayor solubilidad. Las aplicaciones superiores a 50 kg de Mg/ha dieron como resultado una disminución del rendimiento por inducción de deficiencia de Ca. Otros ensayos en la misma localidad (33) produjeron una respuesta significativa con 60 kg de Mg/ha, pero no pudieron demostrar diferencias significativas entre las fuentes de Mg. La cal dolomítica fue la fuente más económica bajo las condiciones de Colombia. En Malasia, Cheing (36) aplicó 20 kg de Mg/ha para la producción máxima de follaje de yuca.

Azufre

El S es un componente básico de varios aminoácidos y por lo tanto es necesario en la síntesis de la proteína. En ausencia de S suficiente, las plantas acumulan cantidades excesivas de N inorgánico, de aminoácidos y de almidón en las hojas, sin formar proteínas (165). En áreas industriales, gran parte de los requerimientos de S de la planta se satisfacen por medio del S de la atmósfera, que desciende en el agua de lluvia. Por lo tanto, la deficiencia es muy común en suelos de bajo contenido de S que están localizados lejos de las áreas industriales. En Colombia, Ngongi (115) observó síntomas de deficiencia de S durante la estación seca sólo en plantas de yuca que habían recibido aplicaciones de KCl, pero no en aquellas que habían recibido KCl + S ó K_2SO_4 . Las fuentes que contenían S fueron superiores en los suelos de los Llanos que tenían sólo 4-4,5 ppm de sulfato-S, pero el KCl y el K_2SO_4 fueron equivalentes en el suelo del Valle del Cauca con 9 ppm de sulfato-S. Ngongi (115) concluyó que el S era un nutrimento limitante y que las aplicaciones elevadas de cloruros podían inhibir la absorción de sulfato e inducir la deficiencia de S.

Micronutrientos

No se informa con frecuencia acerca de deficiencias de micronutrientos en la yuca pero éstas pueden ser más comunes de lo que se cree generalmente. Chew (38) informó que en suelos de turba de Malasia la yuca presenta un crecimiento retardado, y que la parte superior de la planta se torna completamente amarilla en ausencia de fertilización con Cu. Una aplicación basal de 2,5 kg de Cu/ha como $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ aumentó los rendimientos de 4 a 12 t de raíces secas/ha (40).

Los síntomas de deficiencia de Zn en la yuca han sido observados en todo el mundo, tanto en suelos alcalinos como ácidos; y el cultivo parece ser especialmente susceptible a la disponibilidad inadecuada de este elemento. En los suelos alcalinos de CIAT (31), los mejores resultados se obtuvieron con una aplicación foliar de 1% de $ZnSO_4$ ó mediante la inmersión de las estacas en 4% de $ZnSO_4$ al momento de la siembra; en suelos ácidos de los Llanos, una aplicación en el suelo con 5-10 kg de Zn/ha como ZnO fue más eficiente (31). Howeler et al. (79) informaron que en el suelo de los Llanos la yuca respondió principalmente al Zn con sólo una ligera respuesta al Cu y al Mn. Aunque estos suelos tienen un bajo contenido de B, la yuca no respondió a la aplicación de ese elemento, ni presentó síntomas de deficiencia de B, Cu o Mn. En Trivandrum, India, los investigadores obtuvieron una respuesta significativa a las aplicaciones de 10 kg de bórax, 12,5 kg de $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ y a 1 kg de molibdato de amonio/ha (25, 26, 98). Se encontró que la aplicación al suelo de estos elementos era superior a la aplicación foliar.

Forno et al. (66) observaron que la absorción de B dependía considerablemente de la temperatura y que aumentaban el crecimiento de la planta y el contenido de B de las hojas cuando se elevaba la temperatura de las raíces de 19 a 26°C. Se indujo toxicidad de B mediante el aumento de la temperatura a 33°C a una concentración de B en solución que no era tóxica a temperaturas inferiores.

La deficiencia de Fe se puede inducir mediante altos niveles de Cu, Mn y Zn (83). Esto se ha observado en suelos ácidos de alto contenido de Mn, así como en suelos alcalinos calcáreos de la Península de Yucatán en México.

Encalamiento y utilización de otras enmiendas del suelo

Muchos suelos de los trópicos carecen de productividad debido a la extrema acidez del suelo, la cual en el caso de los suelos minerales se acompaña generalmente por toxicidad de Al o de Mn, así como de deficiencia de Ca, Mg y Mo. Estos suelos se pueden hacer productivos mediante el encalamiento, el cual aumenta el pH y el contenido de Ca y disminuye las cantidades de Al y Mn intercambiables y solubles. Howeler et al. (79) demostraron que las bajas aplicaciones de cal aumentaban los rendimientos en los Llanos, pero que las aplicaciones altas tenían un efecto negativo debido a la inducción de deficiencia de Zn. Sólo en presencia de Zn, la yuca, como la mayor parte de los cultivos, presentó una respuesta positiva al nivel de encalamiento de 6 t/ha. En Nigeria, Edwards & Kang (59) también obtuvieron una respuesta positiva pero sólo con 1,0-1,6 t de cal/ha, con una notoria respuesta negativa a niveles más altos debido a la deficiencia inducida de Zn.

En Puerto Rico, Samuels (144) obtuvo una respuesta positiva a la aplicación de 2 t de cal/ha en un suelo con pH 4,5. En Bahía, Brasil, no se obtuvo respuesta al encalamiento en tres años de ensayos (43). Silva & Freire (151) y Normanha (124) recomendaron la aplicación y la incorporación profunda de cal en São Paulo. Normanha (121) recomendó la utilización de 2 t de cal dolomítica/ha si el suelo tenía un pH inferior a 5. En la India, el CTCRI (23, 24) también recomendó la aplicación de 2 t de cal/ha, ya que aumentaba el contenido de P disponible del suelo. Rodríguez (141) recomendó la aplicación de 1,5 t de cal/ha para cada meq de Al/100 g, aunque los datos del CIAT (28, 32) indican que la mayoría de los cultivares de yuca pueden tolerar niveles de Al tan altos como 2-3 meq/100 g.

En suelos de turba en Malasia, Kanapathy & Keat (91), Lim et al. (102) y Chew (37) observaron que la yuca sobrevivía sin encalamiento en un suelo de pH 3,2, mientras que el maíz y el maní murieron. Debido a que el contenido de Al de estos suelos es bajo, ellos atribuyeron esto principalmente a la tolerancia al bajo nivel de pH. Para la obtención de rendimientos máximos, recomendaron, sin embargo, el uso de 3 t de cal hidratada/ha y sugirieron que su efecto beneficioso se debía principalmente a que aumentaba el pH y no al suministro de Ca. Edwards et al. (58) también informaron que la yuca es más tolerante a un pH bajo (3,3) que el maíz o el tomate, pero que el pH óptimo para la yuca es de aproximadamente 5,5. En forma similar, en un Ultisol nigeriano con un pH de 4,2, Edwards & Kang (59) encontraron que los rendimientos de las partes aéreas de la soya se reducían a 9,5% del máximo, los del caupí a 52% y los de la yuca solamente a 79-84% en ausencia de cal. De este modo se encontró que la yuca era muy tolerante a los suelos ácidos. CIAT (31) también informó que la yuca era mucho más tolerante a los suelos ácidos que el frijol, el maíz, el sorgo y el arroz y que tenía una tolerancia similar a la del caupí. Tomando la respuesta promedio de 42 cultivares, se encontró que la yuca producía más del 95% del rendimiento máximo a un pH superior a 4,6 y a una saturación de Al

inferior al 80% (32). Así, para la mayoría de los suelos ácidos, la yuca no requiere cal o sólo aplicaciones muy pequeñas.

La cal se aplica generalmente como cal agrícola (CaCO_3) o dolomítica ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$), finamente molidas. Otras fuentes de cal son CaO , MgO y $\text{Ca}(\text{OH})_2$: las Escorias Thomas pueden contener una equivalencia de 60-70% de CaCO_3 y las rocas fosfóricas frecuentemente contienen pequeñas cantidades de cal. La cal se aplica antes de la siembra y se incorpora por medio del arado y de discos.

Aunque la yuca es bastante tolerante a los suelos ácidos, no tolera un pH extremadamente alto y es bastante sensible a la salinidad y alcalinidad del suelo. CIAT (30) informó que los rendimientos de la yuca se reducían drásticamente cuando el pH era superior a 7,8, la saturación porcentual de Na era superior a 2,5, o la conductividad eléctrica era superior a 0,5-0,7 mmhos/cm. En comparación, los rendimientos del frijol se afectaron menos por estas condiciones (31). Los cultivares de yuca varían considerablemente en su tolerancia, y se podrían seleccionar ciertos cultivares para suelos de alto pH. Aunque la aplicación de 2 t de S/ha fue eficiente para aumentar los rendimientos bajo las condiciones de alto pH de los terrenos del CIAT (30), esta práctica es demasiado costosa para ser recomendada. Una solución más práctica es el cambio a un cultivo o variedad diferentes, con una mejor tolerancia a la salinidad.

Métodos de aplicación de fertilizantes

La yuca posee un sistema radical burdo, con unas pocas raíces que son bastante gruesas y que tienen relativamente pocos pelos absorbentes (81). Por esta razón puede depender considerablemente de las asociaciones con micorrizas para la absorción de nutrimentos, especialmente del P, que posee escasa movilidad en el suelo (171, 172). Campos & Sena (20) y Sena & Campos (149) informaron que en un Oxisol en Cruz das Almas, Brasil, las raíces de yuca alcanzaban una profundidad de 90 cm a los 7 meses y que el 66% de las raíces se encontraba en los primeros 10 cm de suelo. A los 12 meses las raíces alcanzaban una profundidad de 140 cm con 86% en los primeros 10 cm de suelo. En las dos épocas de cosecha, aproximadamente el 96% de las raíces se encontró en los primeros 30 cm de suelo. Entonces, parece que la yuca tiene algunas raíces profundas, posiblemente para la absorción de agua durante la sequía, pero la mayor parte del sistema radical se encuentra cerca de la superficie, lo que hace que las aplicaciones de fertilizantes a profundidades mayores de 10-20 cm sean probablemente ineficientes.

Mediante el uso de P radiactivo, Ofori (132) estableció que una vez que las raíces comenzaban a funcionar como órganos de acumulación de carbohidratos, dejaban de desempeñar un papel activo en la absorción de nutrimentos. Él sugirió que la aplicación de P al voleo sobre la superficie del suelo una vez que la planta se había establecido podría ser más eficiente, ya que las raíces absorbentes activas se localizaban en los primeros 10 cm de suelo.

Normanha & Freire (122) obtuvieron una escasa germinación cuando aplicaron N y K en el surco de siembra, especialmente durante la estación seca. Ellos recomendaron la aplicación lateral de P y K durante la siembra con una aplicación de N a los tres meses

(124, 126, 159). En los Llanos de Colombia, la aplicación de 1 t/ha de fertilizante 10-20-20 directamente bajo la estaca sembrada vertical u horizontalmente no causó daños ni aún durante la siembra de estación seca (33). Se encontró que el mejor método de fertilización durante la época de siembra de la estación húmeda era la aplicación de la mitad de los fertilizantes al voleo y la otra mitad en bandas en el momento de la siembra, mientras la aplicación al voleo sin hacer caballones fue superior en la siembra de la estación seca (33). En un ensayo en Darién, Colombia, Ramírez (139) no encontró diferencias significativas entre la aplicación de un fertilizante compuesto NPK en bandas, en círculos o en un solo sitio. En forma similar, en Tailandia no se obtuvieron diferencias significativas entre la aplicación al voleo, en bandas por debajo de la estaca o en una banda lateral, a 20 ó 50 cm de la estaca (156). En otros ensayos se obtuvieron los más altos rendimientos mediante la aplicación de los fertilizantes en bandas, en surcos de 15 cm de profundidad antes de sembrar en el mismo surco (155). En Malasia, Chan (35) no encontró diferencias significativas entre la aplicación de N en banda y al voleo en el momento de la siembra. Con la aplicación de SFT en los Llanos de Colombia no se observaron diferencias significativas entre la aplicación en bandas o al voleo (30), aunque en suelos con mayor fijación de P, se espera que la aplicación en bandas dé mejores resultados. Para las fuentes de P menos solubles tales como rocas fosfóricas o Escorias Thomas, la aplicación al voleo fue considerablemente superior a la aplicación en bandas (30). En la India se registraron rendimientos más altos (24) con la aplicación de P a 5 ó 10 cm de profundidad en comparación con la aplicación superficial.

Epoca de aplicación

Varios investigadores (106, 124, 144, 150) han recomendado la aplicación de fertilizantes de N y K durante la siembra o poco después, con una aplicación adicional a los 2-3 meses. En la India, Kumar et al. (97) registraron mejores resultados con la aplicación de la mitad del K al momento de la siembra y la otra mitad al mes. En el mismo país, Ashokan & Sreedharan (16) recomendaron una aplicación fraccionada de K si solamente se aplican cantidades pequeñas, mientras que el CTCRI (22) obtuvo rendimientos más elevados con aplicaciones fraccionadas de N ($\frac{1}{2}$ basal, $\frac{1}{2}$ a los 2 meses), P ($\frac{1}{2}$ basal, $\frac{1}{2}$ al mes o a los 2 meses) y K ($\frac{1}{2}$ al mes y $\frac{1}{2}$ a los 2 meses), aunque en otros ensayos (23) se encontró que una aplicación basal de P era significativamente superior que una aplicación fraccionada. Rodríguez (141) obtuvo mayores rendimientos cuando todos los fertilizantes NPK se aplicaron al momento de la siembra y no como aplicación fraccionada. CIAT (30, 31) no encontró diferencias significativas entre una aplicación basal y una fraccionada de fertilizantes de N o K, pero una aplicación basal de P era superior a una fraccionada (30). Más recientemente (33), se encontró que una aplicación fraccionada de K con una tercera parte aplicada a los 0, 30 y 90 días era superior a una sola aplicación basal.

SELECCION DE CULTIVARES TOLERANTES A PROBLEMAS DEL SUELO

Aunque las aplicaciones de cal a los suelos ácidos, y yeso o azufre a los suelos alcalinos puede transformarlos en suelos más productivos, el costo de estas correcciones es muchas

veces demasiado alto. En tales situaciones frecuentemente es más práctico ajustar la planta al suelo que viceversa. La selección de especies y cultivares con tolerancia a problemas específicos del suelo es una alternativa factible a la práctica tradicional de fertilización y corrección del suelo.

La yuca es altamente tolerante a los suelos ácidos, pero dentro de la especie, los cultivares difieren altamente en su tolerancia a un bajo pH per se o a altas concentraciones de Al en solución (74), o de Mn en solución (60). CIAT (31) ha evaluado cientos de cultivares por su tolerancia a los suelos ácidos y ha encontrado algunos de ellos bastante productivos aun a pH de 4,3 y 85% de Al intercambiable.

En forma similar, se encontró que los cultivares de yuca diferían en sus requerimientos externos de NH_4 ó $\text{NO}_3\text{-N}$ (65), de P (88) y de K (159), y que diferían en las tasas de absorción y translocación o en la eficiencia de utilización de estos nutrimentos en la producción de MS. CIAT (31) también informó que existían grandes diferencias entre cultivares en los requerimientos de P y K en el campo, mientras que frecuentemente se han observado diferencias en la tolerancia al bajo contenido de Zn.

ESTADO NUTRICIONAL Y TOLERANCIA A LOS INSECTOS Y A LAS ENFERMEDADES

La literatura sobre las interacciones entre el estado nutricional de la yuca y la tolerancia a las enfermedades y a las plagas es muy limitada, pero ésta parece ser un área de importancia potencial. En Colombia, las enfermedades y los ataques de insectos parecen ser más severos en los Llanos Orientales donde los suelos son de muy baja fertilidad. Aunque las condiciones climáticas de la región contribuyen a una severa incidencia de enfermedades durante la estación de lluvias y a altas poblaciones de insectos durante la estación seca, parece que las plantas son más susceptibles a los ataques y no tienen el vigor para recuperarse de ellos debido a las deficiencias nutricionales. De esta manera, el añublo bacteriano de la yuca (CBB) causó un daño más severo en las plantas con crecimiento retardado debido a la aplicación inadecuada de cal más bien que a la fertilización inadecuada de P. Parece que una nutrición inadecuada de Ca puede haber aumentado la susceptibilidad de la planta a las infecciones por CBB. Tanto Arene (11) como Adeniji & Obigbesan (2) informaron que la incidencia del CBB se reducía con la aplicación de niveles moderados de K (75 kg/ha). Un alto nivel de K aplicado (100 kg/ha), sin embargo, aumentó la incidencia de la enfermedad y disminuyó los rendimientos. Se han registrado interacciones entre la nutrición de K o Si y la incidencia de las enfermedades para otros cultivos; este aspecto debería ser investigado más a fondo para la yuca.

En forma inversa, las enfermedades pueden afectar el estado nutricional de las plantas. Obigbesan & Matuluku (131) informaron que el CBB causó una reducción en el contenido de macronutrimentos y un aumento en el de micronutrimentos de las hojas de yuca; la enfermedad también redujo el contenido de almidón de las raíces. Alagianagalingam & Ramakrishnan (5) informaron que las hojas de yuca infectadas con el virus del mosaico africano tenían contenidos inferiores de N, y que la enfermedad aumentaba las fluctuaciones diurnas en el contenido total de N de las hojas.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

La yuca tolera mejor que otros cultivos un pH bajo y bajas concentraciones de N, K y Ca, así como las altas concentraciones de Al y de Mn en soluciones nutritivas. Para el crecimiento máximo, sin embargo, los requerimientos externos de la yuca para N, K y Ca son similares a los de otros cultivos, pero mucho mayores en el caso del P. En forma similar, la yuca crece relativamente bien en suelos ácidos de baja fertilidad, pero puede necesitar una fertilización considerable para lograr rendimientos máximos. El requerimiento de P de la yuca en los suelos parece ser similar al de otros cultivos debido a asociaciones efectivas de micorrizas.

El Cuadro 10 resume la respuesta a la fertilización y al encalamiento. En los tres tipos de suelos tropicales de mayor extensión (Oxisoles, Ultisoles e Inceptisoles), el P es generalmente el elemento más limitante del rendimiento. En los Llanos de Colombia, los rendimientos aumentaron tres veces mediante adecuada fertilización con P. La yuca extrae grandes cantidades de K del suelo (aproximadamente 100 kg por cada 25 t de raíces) y puede ocasionar el agotamiento de este elemento si se la cultiva continuamente sin fertilización adecuada. Bajo estas condiciones, el cultivo responde a los altos niveles de aplicación de K. En comparación con muchos otros cultivos, la yuca tiene un bajo requerimiento de N; las altas aplicaciones pueden causar un crecimiento excesivo de las partes aéreas, una reducción en la síntesis del almidón y un escaso engrosamiento de las raíces.

La yuca es muy tolerante a los suelos ácidos donde otros cultivos pueden sufrir de toxicidad de Al o de Mn. Aunque también tolera un pH bajo, el intervalo óptimo está entre 5,5 y 7,5. El cultivo frecuentemente responde a bajas aplicaciones de cal pero es susceptible al encalamiento excesivo, el cual puede inducir deficiencias de micronutrientes. Es especialmente susceptible a la deficiencia de Zn, lo cual se puede solucionar con la aplicación de sulfato de zinc al suelo, en aspersión foliar, o por tratamiento de las estacas al momento de la siembra.

La Figura 3 indica los principales países productores de yuca (62), así como los elementos que más limitan la producción de yuca en cada región o país según la literatura. En general, la deficiencia de P es más común en las áreas cultivadoras de yuca en América Latina, mientras que las deficiencias de N y de K son más comunes en África y Asia.

Mediante la evaluación de grandes números de cultivares de yuca por tolerancia a las condiciones adversas del suelo, tales como acidez o baja disponibilidad de P, puede ser posible seleccionar y mejorar material genético que esté bien adaptado a suelos pobres con insumos mínimos de fertilizante.

Cuadro 10. Respuesta de la yuca a la aplicación de nutrientes y cal en diferentes zonas del mundo según la literatura.

País	Región	Suelo	N	P	K	Mg	Cal	Fuente	
			(t/ha)				(t/ha)*		
Puerto Rico		Ultisol	120		83		2	Fox et al. (67) Samuels (144)	
Costa Rica		Laterítico	60-70	26-30	108			Schmitt (148) Acosta & Pérez (1) Murillo (112)	
			50	—	—				
Colombia	Varios	Incept-Oxisol	50-60	<u>131</u>	42-50			Tarazona et al. (169) Rodríguez (141) Ngongi (115) Ngongi (115) CIAT (29) CIAT (30) CIAT (31, 32) CIAT (33)	
	Antioquia	Inceptisoles	145	85	38				
	Valle del Cauca	Inceptisoles			100				
	Llanos	Oxisoles	100		200				50
	Llanos	Oxisoles	100						
	Llanos	Oxisoles	100	<u>87-175</u>	133				
	Llanos	Oxisoles	130	175	133				0,5-2
	Llanos	Oxisoles							60
Perú	Tarapoto	Ultisol	—	52	—		Curva (49)		
Brasil	São Paulo, Goiás		20	<u>26-52</u>	25-83		2	Normanha (121, 123, 124)	
	São Paulo	Arenoso	—	—	50-100			Silva & Freire (151, 152)	
	Río de Janeiro		—	29	—			Nunes et al. (127)	
	Minas Gerais	Oxisoles			50			Correa et al. (44-46)	
	Bahia	Oxisoles	200	<u>30</u>	—			Santana & Carvalho (146)	
	Bahia	Oxisoles	—	<u>26-52</u>	50-100			Gómez et al. (71)	
	Estuario amazónica			44	150			Albuquerque (6)	

País	Región	Suelo	N	P	K	Mg	Cal	Fuente
			(kg/ha)					
Nigeria	Oeste		25	—	50			Amon & Adetunji (7)
	Oeste	Various	60-90			—		Obigbesan & Fayemi (129)
	Este	Liviano, ácido Ultisol	9-27			17		Irving (86)
							1-1,6	Edwards & Kang (59)
Ghana			25	10				Stephens (164)
	Otrokpe	Ochrosol boscoso	60	20	—		—	Takyi (166)
			134					Takyi (167)
Madagascar			30-60	57	<u>92</u>			Anon (8), De Geus (50)
			100	—	<u>150</u>			Roche et al. (140)
			30	120	100			Cours et al. (48)
India	Kerala	Oxisol	100					Mandal et al. (106)
	Kerala	Oxisol	100-150					Saraswat & Chattiar (147)
	Kerala	Oxisol	<u>50-100</u>	44-65	83			CTCRI (22-25)
	Kerala	Oxisol	100	44-65	83			Vijayan & Aiyer (170)
	Kerala	Oxisol		35	133			Chadha (34)
	Kerala	Oxisol			83			Kumar et al. (96)
Tailandia				14-21				Hongsapan (77)
	Nordeste	Podzoles	<u>50-100</u>	22-44				Sittibusaya & Kurmarohita (156)
	Sureste	Podzoles agotados	<u>50-100</u>	44-88				Sittibusaya & Kurmarohita (156)
Malasia	Sureste	Turba	<u>180</u>	22	92-133		3	Chew (37, 38)
	Sureste	Turba	120	—	75			Kanapathy (92)
	Kuala Lumpur		150	30	150	20		Cheing (36)
	Serdang		124	29	98			Ahmad (4)
Indonesia	Java		90	13	0-42			Hadi & Gozallie (75)
	Java	Inceptisoles	—		125-250			Den Doop (53, 54)

* Los números subrayados indican los principales nutrientes limitantes; la raya indica ausencia de respuesta

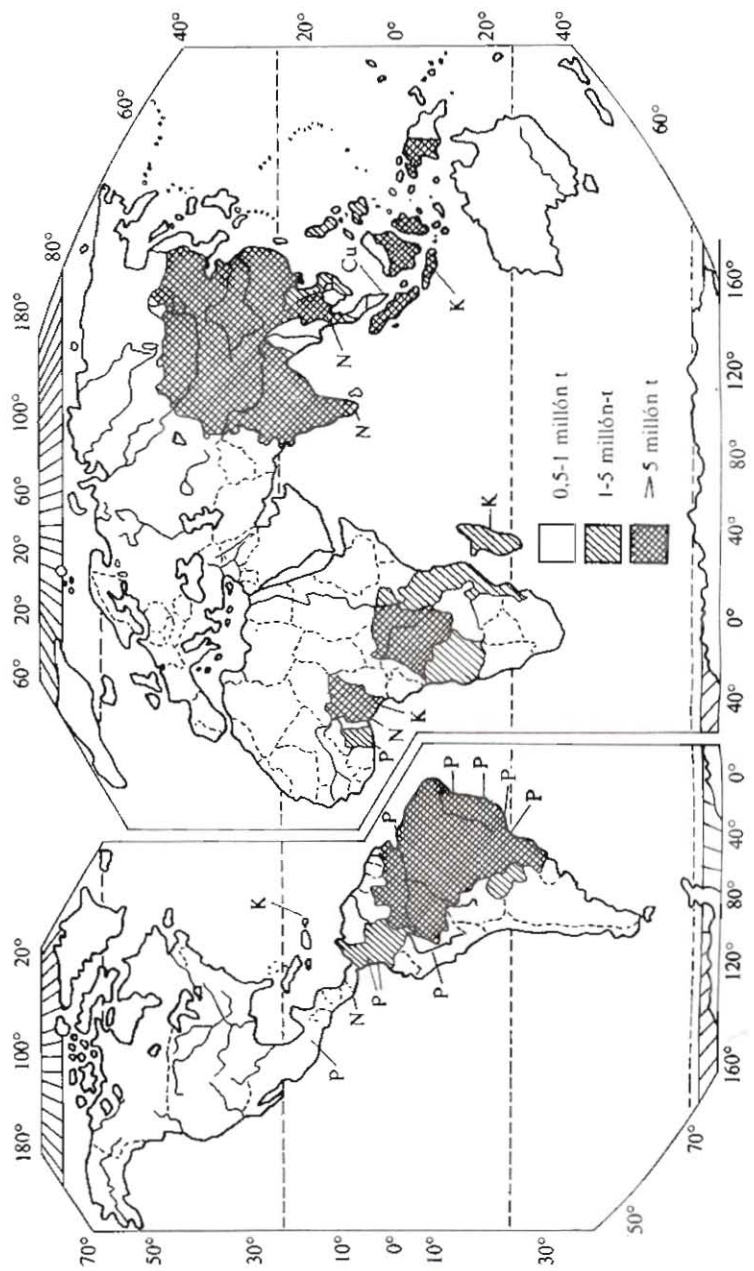


Figura 3. Producción mundial de yuca en 1978 (62) y principales nutrimentos limitantes para la yuca según varios autores.

PRIORIDADES DE INVESTIGACION

Como la producción de yuca se extenderá más y más hacia las áreas con suelos marginales, es esencial que se aumente la investigación sobre su nutrición y los requerimientos de fertilidad del suelo. Las áreas siguientes requieren atención especial:

1. Absorción de nutrimentos, translocación y utilización de elementos individuales y sus interacciones
2. Morfología y extensión del sistema radicular y factores que afectan el engrosamiento de raíces
3. Efecto de los nutrimentos sobre la distribución de MS entre partes aéreas y raíces
4. Micorrizas y otros microorganismos que pueden afectar la absorción de nutrimentos
5. Tolerancia genética a las condiciones adversas del suelo e incorporación de esta tolerancia a cultivares de altos rendimientos
6. Interacción entre nutrición de la planta y tolerancia a las enfermedades y plagas
7. Relación entre las características del suelo y la producción de yuca, y determinación de los niveles mínimos de nutrimentos en el suelo requeridos para una producción máxima
8. Utilización de fuentes de nutrimentos de bajo costo, tales como rocas fosfóricas, abonos orgánicos, residuos industriales, etc.
9. Técnicas más eficientes de aplicación de fertilizantes, incluyendo el desarrollo de maquinaria y herramientas adecuadas
10. Valor nutricional del barbecho, rotación e intercalación de cultivos de leguminosas

Se requerirán esfuerzos internacionales de investigación coordinados para cubrir adecuadamente todos estos aspectos con el fin de alcanzar el objetivo de una mayor producción y productividad de la yuca con un mínimo de insumos costosos.

Literatura citada

1. ACOSTA J., R. y PEREZ G., J. 1954. Abonamiento en yuca. Suelo Tico 7(31):300-308.
2. ADENIJI, M.O. y OBIGBESAN, G.O. 1976. The effect of potassium nutrition on the bacterial wilt of cassava. Nigerian J. Plant Protection 2:1-3.
3. AGBOOLA, A.A. y OBIGBESAN, G.O. 1976. The response of some improved food crop varieties to fertilizers in the forest zone of western Nigeria. In Seminar on Fertilizer Use Development in Nigeria, Rome, Italy, 1974. Report on FAO/NORAD and Federal Department of Agriculture. Rome, FAO-AGL/MISC/76/3. pp.63-77.
4. AHMAD, M.I. 1973. Potential fodder and tuber yields of two varieties of tapioca. Malays. Agric. J. 49(2):166-174.
5. ALAGIANAGALINGAM, M.N. y RAMAKRISHNAN, K. 1974. Effect of cassava mosaic virus on the nitrogen metabolism of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). Madras Agric. J. 61(1-2):18-26.
6. ALBUQUERQUE, M. DE 1968. Estudo de fertilidade com mandioca em latossolo amarelo esgotado da Zona do Estuario Amazonico. Brasil, Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Norte. Boletim Informativo no. 134. 5p.
7. AMON, B.O.E. y ADETUNJI, S.A. 1973. The response of maize, yam and cassava to fertilizers in a rotation experiment in the savannah zone of western Nigeria. Nigerian Agric. J. 10(1):91-98.
8. ANON. 1952. Le manioc. Recherche Agronomique de Madagascar no. 1:49-52.
9. _____. 1953. Essais de fumure du manioc. Recherche Agronomique de Madagascar. Compte Rendu no. 2:85-88.
10. _____. 1961. Experiments produce more cassava. Q. Bul. 1961: 5-12. Department of Agriculture of Zanzibar.
11. ARENE, O.B. 1978. Preliminary results on the effect of nitrogen, phosphorus and potassium as fertilizer factors on cassava bacterial blight in Nigeria. In Ene, L.S.O. et al., eds. National Seminar on Root and Tuber Crops, Ist., Umudike, Nigeria, 1977. Proceedings. Umudike, National Root Crops Research Institute. pp.202-207.
12. ASHER, C.J. 1975. Symptoms of nutritional disorders in cassava. St. Lucia, Australia, University of Queensland.

13. _____. 1978. Natural and synthetic culture media for spermatophytes. *In* CRC Handbook Series in Nutrition and Food. Miloslav Rechcigl, Jr. Ed. Section G: Diets, Culture Media, Food Supplements. Vol. III:575-609.
14. _____ y EDWARDS, D.G. 1978. Critical external concentrations for nutrient deficiency and excess. *In* Ferguson, A.R.; Bielecki, R.L. and Ferguson, I.B., eds. International Colloquium on Plant Analyses and Fertilizer Problems, 8th., Auckland, New Zealand, 1978. Proceedings. pp.13-28.
15. _____; EDWARDS, D.G. y HOWELER, R.H. 1980. Nutritional disorders of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). St. Lucia, Australia, University of Queensland. 48p.
16. ASHOKAN, P.K. y SREEDHARAN, C. 1977. Influence of levels and time of application of potash on growth, yield and quality of tapioca (*Manihot esculenta* Crantz). *J. Root Crops* 3(2):1-4.
17. BIRKINSHAW, F. 1926. A brief summary of tapioca cultivation on what is a now valuable rubber estate in province Wellesley. *Malays. Agric. J.* 14(11):361-364.
18. BLIN, H. 1905. La fumure du manioc. *Bulletin Economique de Madagascar* no. 3:419-421.
19. BOTTON, H. y PERRAUD, A. 1962. Expérimentation fumure organique (gadoues-fumier) sur manioc. Adiopodoumé, IDERT. 9p.
20. CAMPOS, H. DOS R. y SENA, Z.F. DE 1974. Profundidade do sistema radicular do aipim maragogipe (*Manihot esculenta* Crantz) em diferentes idades. Cruz das Almas, Bahia, Brasil, Universidade Federal da Bahia. Escola de Agronomia. 9p.
21. CENTRAL TUBER CROPS RESEARCH INSTITUTE. 1970. Annual report 1969. *In* _____. Trivandrum, India. pp.21-45.
22. _____. 1971. Annual report 1970. *In* _____. Trivandrum, India. pp.14-31.
23. _____. 1972. Annual report 1971. *In* _____. Trivandrum, India. pp.21-53.
24. _____. 1973. Annual report 1972. *In* _____. Trivandrum, India. pp.24-50
25. _____. 1974. Annual report 1973. *In* _____. Trivandrum, India. pp.16-41.
26. _____. 1975. Annual report 1974. *In* _____. Trivandrum, India. pp.4-41.
27. _____. 1976. Annual report 1975. *In* _____. Trivandrum, India. pp.28-50.
28. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 1975. Cassava production systems. *In* _____. Annual report 1974. Cali, Colombia. pp.54-109.

29. _____. 1976. Cassava production systems. *In* _____. Annual report 1975. Cali, Colombia. pp.B-1 - B-56.
30. _____. 1977. Cassava production systems program. *In* _____. Annual report 1976. Cali, Colombia. pp. B-1 - B-76.
31. _____. 1978. Cassava program. *In* _____. Annual report 1977. Cali, Colombia. pp. C-1 - C-68.
32. _____. 1979. Cassava program. *In* _____. Annual report 1978. Cali, Colombia. pp. A-1 - A-100.
33. _____. 1980. Cassava program. Annual report 1979. Cali, Colombia 93 p.
34. CHADHA, T.R. 1958. Fertilizer experiments on tapioca in the Kerala State. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 6(1):53-63.
35. CHAN, S.K. 1970. Notes on the growing of cassava at Serdang. *In* Blencowe, E.K. and Blencowe, J.W., eds. Crop diversification in Malaysia. Kuala Lumpur, Malaysia, Incorporated Society of Planters. pp.139-148.
36. CHEING, B.N. 1973. Evaluation of harvesting systems of tapioca for leaf forage production. B.Agr.Sc. Thesis. Kuala Lumpur, University of Malaya, Faculty of Agriculture. 88p.
37. CHEW, W.Y. 1970. Varieties and NPK fertilizers for tapioca (*Manihot utilissima* Pohl) on peat. *Malays. Agric. J.* 47(4):483-491.
38. _____. 1971. The performance of tapioca, sweet potato and ginger on peat at the Federal Experiment Station, Jalan Kebun, Selangor. Kuala Lumpur, Agronomy Branch, Division of Agriculture.
39. _____. 1977. Assessment of cassava as an industrial crop on Malaysian peat. Serdang, Selangor, Malaysian Agricultural Research and Development Institute. Report no. 57. 12p.
40. _____. JOSEPH, K.T. y RAMLI, K. 1978. Influence of soil-applied micronutrients on cassava (*Manihot esculenta*) in Malaysian tropical oligotrophic peat. *Exp. Agric.* 14(2):105-111.
41. COCK, J.H. 1975. Fisiología de la planta y desarrollo. *In* Curso sobre producción de yuca. Medellín, Instituto Colombiano Agropecuario, Regional 4. pp.35-43.
42. _____. y HOWELER, R.H. 1978. The ability of cassava to grow on poor soils. *In* Jung, G.A., ed. Crop tolerance to suboptimal land conditions. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy. ASA Special Publication no. 32. pp.145-154.

43. CONCEIÇÃO, A.J. DA; TAVARES, F.D. y GUIMARÃES, C.D. 1973. Calagem em solos para mandioca. Cruz das Almas, Brasil. Universidade Federal da Bahia, Escola de Agronomia/BRASCAN NORDESTE. Série Pesquisa 1(1):53-60.
44. CORREA, H. et al. 1979. Estudo dos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo e potássio na cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em latossolo vermelho escuro. Congresso Brasileiro de Mandioca. Salvador, Bahia, Brasil.
45. ——— et al. 1979. Níveis de fósforo, épocas de aplicação e parcelamento de nitrogênio e potássio na cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em latossolo vermelho escuro. Congresso Brasileiro de Mandioca. Salvador, Bahia, Brasil.
46. ——— et al. 1979. Níveis e épocas de aplicação de potássio na cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em latossolo vermelho escuro fase cerrado. Congresso Brasileiro de Mandioca. Salvador, Bahia, Brasil.
47. COURTS, G. 1953. Le manioc. Recherche Agronomique de Madagascar. Compte Rendu no. 2:78-88.
48. ———; FRITZ, J. y RAMAHADIMBY, G. 1961. El diagnóstico felodérmico de la mandioca. Fertilité no. 12:3-20.
49. CURVA B., A. 1977. Respuesta de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) a la fertilización con NPK en Tarapoto. Tarapoto, Perú. Centro Regional de Investigación Agropecuaria del Oriente. Avances en Investigación 1(1):20-25.
50. DE GEUS, J.G. 1967. Root crops; cassava. In ———. Fertilizer guide for tropical and subtropical farming. Zurich, Centre d'Etude de l'Azote. pp.181-185.
51. DIAS, C.A. DE C. 1966. Mandioca também se aduba. Fir. 8(9):14-16.
52. DIAZ, R.O.; PINSTRUP-ANDERSEN, P. y ESTRADA, R.D. 1974. Cost and use of inputs in cassava production in Colombia: a brief description. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical. Series EE-no.5.
53. DOOP, J.E.A. DEN 1937. Groene bemesting, kunstmest en andere factoren in Sisal- en Cassave-productie. V. De Bergcultures 11(9):264-278.
54. ———. 1937. Groene bemesting, kunstmest en andere factoren in Sisal- en Cassave-productie. VI. De Bergcultures 11(36):1290-1305.
55. ———. 1941. Factors influencing the availability of the indigenous phosphorus in an acid tropical soil. Soil Sci. 52:101-120.
56. DUFOURNET, R. y GOARIN, P. 1957. Note sur la culture du manioc à Madagascar. Riz et Riziculture 3(1):15-38.

57. DULONG, R. 1971. Le manioc à Madagascar. *Agron. Trop.* 26(8):791-829.
58. EDWARDS, D.G.; ASHER, C.J. y WILSON, G.L. 1977. Mineral nutrition of cassava and adaptation to low fertility conditions. *In* Symposium of the International Society for Tropical Root Crops, 4th., Cali, Colombia, 1976. Proceedings. Ottawa, Canada, International Development Research Centre. pp.124-130.
59. ——— y KANG, B.T. 1978. Tolerance of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) to high soil acidity. *Field Crops Research* 1:337-346.
60. ——— y ASHER, C.J. 1979. Nutrient requirement of cassava. *Handbook of Nutrition and Food* (C.R.C. Press) (en imprenta).
61. EVENSON, J.P. y KEATING, B. 1978. The potential of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) as a harvester of solar energy. *In* Conference on Alcohol Fuels, Sydney, New South Wales, 1978. Proceedings. Sydney, Australia, Institution of Chemical Engineers. New South Wales Group. pp. 7-1 - 7-5.
62. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 1979. *Production Yearbook 1978*. Vol.32:116-117.
63. FORNO, D.A. et al. 1973. Physiological variability in the mineral nutrition of cassava. *In* Symposium of the International Society for Tropical Root Crops, 3rd., Ibadan, Nigeria, 1973. Ibadan, International Institute of Tropical Agriculture.
64. ———; 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(1):47-55.
65. ———. 1977. The mineral nutrition of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) with particular reference to nitrogen. Ph.D. Thesis. Brisbane, University of Queensland. Department of Agriculture. 175p.
66. ———; ASHER, C.J. y EDWARDS, D.G. 1979. Boron nutrition of cassava and the boron x temperature interaction. *Field Crops Research* 2(3):265-279.
67. FOX, R.H.; TALLEYRAND, H. y SCOTT, T.W. 1975. Effect of nitrogen fertilization on yields and nitrogen content of cassava, Llanera cultivar. *J. Agric. P. R.* 59(2):115-124.
68. FOX, R.L. y KAMPRATH, E.J. 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34:902-907.
69. ——— et al. 1974. Comparative external phosphorus requirements of plants growing in tropical soils. *Trans. Int. Conf. Soil Sci.* 4:232-239.

70. GOMES, J. DE C.; MAGALHAES, A.F. DE J. y MATTOS, P.L.P. 1979. Influencia da adubação mineral sobre a produção de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) no estado da Bahia. Congresso Brasileiro de Mandioca, Salvador, Bahia, Brasil.
71. ____ et al. 1979. Doses e épocas de aplicação de nitrogenio na cultura da mandioca. Congresso Brasileiro de Mandioca. Salvador, Bahia, Brasil.
72. GOMEZ, A. 1975. Erosión y conservación de los suelos de ladera de los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda. Mimeo. CENICAFE. Manizales, Colombia.
73. GRANER, E.A. y ABRAHAO, J.T.M. 1970. Cultura de mandioca. Piracicaba, Brasil, Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz". Agricultura e Horticultura. 24p.
74. GUNATILAKA, A. 1977. Effects of aluminium concentration on the growth of maize, soybean and four tropical root crops, M.Sc. Thesis. St. Lucia, Australia, University of Queensland.
75. HADI, J.W. y GOZALLIE, D.M. 1975. Effect of spacing and NK fertilization on the yield of Gading cassava variety. Bogor, Indonesia. Central Research Institute for Agriculture. 10p.
76. HAMMOND, L.L. 1977. Effectiveness of phosphate rocks in Colombian soils as measured by crop response and soil phosphorus levels. Ph.D. Thesis. East Lansing, Michigan, Michigan State University.
77. HONGSAPAN, S. 1962. Does planting of cassava really impoverish the soil? *Kasikorn* 35(5):403-407.
78. HOOKER, W.J. 1831. *Janipha maniot*. Eatable-rooted, physic-nut, bitter cassada, manioc or tapioca. *Bot. Mag.* 58:3071-3075.
79. HOWELER, R.H.; CADAVID, L.F. y CALVO, F. A. 1977. The interaction of lime with minor elements and phosphorus in cassava production. *In* Symposium of the International Society for Tropical Root Crops, 4th., Cali, Colombia, 1976. Proceedings. Ottawa, Canada, International Development Research Centre. pp.113-117.
80. _____. 1978. The mineral nutrition and fertilization of cassava. *In* Cassava Production Course. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical. pp. 247-292.
81. ____ ; 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. International Symposium of Tropical Root Crops. Manila, Philippines.
82. _____; EDWARDS, D.G. y ASHER, C.J. 1980. A nutrient solution technique used to study the effect of mycorrhizal association on the growth and P-uptake of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) (sin publicar).
 83. _____; EDWARDS, D.G. y ASHER, C.J. Symptoms and critical tissue concentrations of deficiencies and toxicities of copper, iron, manganese, zinc, and boron in cassava, as determined in nutrient solutions (sin publicar).
 84. HOWELL, D.D. 1974. Symptoms of nutrient deficiency of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). M.Sc. Thesis. Guelph, Ontario, University of Guelph.
 85. INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL AGRICULTURE. 1976. In _____ . Annual report 1975. Ibadan, Nigeria.
 86. IRVING, H. 1956? Fertiliser studies in eastern Nigeria, 1947-51. Enugu, Nigeria. The Government Printer. 34p.
 87. ISLAM, A.K.M.S.; EDWARDS, D.G. y ASHER, C.J. 1980. pH optima for crop growth: results of a flowing solution culture experiment with six species. Plant and Soil (sometido para publicación)
 88. JINTAKANON, S.; EDWARDS, D.G. y ASHER, C.J. 1979. An anomalous, high external phosphorus requirement for young cassava plants in solution culture. International Symposium of Tropical Root Crops. Manila, Philippines.
 89. JONG, A.W.K. DE 1913. Het zetmeelgehalte van den cassawortel. Mededeelingen van het Agricultuur Chemisch Laboratorium no. 5:1-18.
 90. KAILASAM, C. et al. 1977. Influence of soil moisture regimes under different fertilizer treatments on the HCN content of tapioca. Madras Agric. J. 64(6):399-401.
 91. KANAPATHY, K. y KEAT, G.A. 1970. Growing maize, sorghum and tapioca on peat soil. In Blencowe, E.K. and Blencowe, J.W., eds. Crop diversification in Malaysia. Kuala Lumpur, Malaysia, Incorporated Society of Planters. pp. 25-35.
 92. _____, 1974. Fertilizer experiments on shallow peat under continuous cropping with tapioca. Malays. Agric. J. 49(4):403-412.
 93. KOCH, L. y MEER, M. VAN DER 1926. Uitkomsten van eenige bemestingsproeven met cassave. Buitenzorg, Java. Departement van Landbouw, Nijverheid en Handel. Korte berichten uitgaande van het Algemeen Proefstation voor den Landbouw no. 50. 15p.

94. KROCHMAL, A. y SAMUELS, G. 1968. Deficiency symptoms in nutrient pot experiments with cassava. *Ceiba* 14:7-16.
95. ——— y SAMUELS, G. 1970. The influence of NPK levels on the growth and tuber development of cassava in tanks. *Ceiba* 16(2):35-43.
96. KUMAR, B.M.; MANDAL, R.C. y MAGOON, M.L. 1971. Influence of potash on cassava. *Indian J. Agron.* 16(1):82-84.
97. ——— et al. 1977. Effect of farm yard manure and NPK on cassava. *In* Symposium of the International Society for Tropical Root Crops, 4th., Cali, Colombia, 1976. Proceedings. Ottawa, Canada, International Development Research Centre. pp.122-124.
98. ———. 1978. Soil and fertilizer requirements of cassava. *In* Hrish, N. and Gopinathan Nair, R., eds. Cassava production technology. Trivandrum, India, Central Tuber Crops Research Institute. pp.17-20.
99. LAMBOURNE, J. 1927. A preliminary report on tapioca as a catch-crop with oil palms. *Malays. Agric. J.* 15:104-113.
100. LEE, C.E. 1973. Deficiency symptoms in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in nutrient pot experiment. Report Diploma Trop. Agron., St. Lucia, Australia, University of Queensland.
101. LEON, J. 1977. Origin, evolution, and early dispersal of root and tuber crops. *In* Symposium of the International Society for Tropical Root Crops, 4th., Cali, Colombia, 1976. Proceedings. Ottawa, Canada, International Development Research Centre. pp.20-36.
102. LIM, C.K.; CHIN, Y.K. y BOLLE-JONES, E.W. 1973. Crop indicators of nutrient status of peat soil. *Malays. Agric. J.* 49(2):198-207.
103. LOPEZ J., L.E. y ESTRADA, R.N. 1969. Taxonomía de la yuca, su origen, valor nutritivo y prácticas agronómicas. Bogotá, Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). 18p.
104. LOZANO, J.C. et al. 1976. Field problems in cassava. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical, Series GE-16. 27p.
105. MALAVOLTA, E. et al. 1955. Studies on the mineral nutrition of cassava (*Manihot utilissima* Pohl). *Plant Physiol.* 30(1):81-82.
106. MANDAL, R.C.; SINGH, K.D. y MAGOON, M.L. 1971. Relative efficacy of different sources, levels and split application of nitrogen in tapioca. *Indian J. Agron.* 16(4):449-452.

107. ———; SINGH, K.D. y MAINI, S.B. 1973. Effect of plant density, fertility level and shoot number on tuber yield and quality of tapioca hybrids. *Indian J. Agron.* 18(4):498-503.
108. MARTIN, M. 1952. Le manioc. *Engrais* no. 53:17-20.
109. MAYNARD, D.N. 1979. Nutritional disorders of vegetable crops: a review. *J. Plant Nutrition* 1:1-23.
110. MEJIA F., R. 1946. El cultivo de la yuca y su explotación industrial. *Agric. Trop. (Colombia)* 2(1):9-13.
111. MUELLO, A.C. 1936. Cultivo y explotación de la mandioca en la Argentina. *Hacienda* 31(6):204-205.
112. MURILLO A., G. 1962. Estudios sobre yuca (*Manihot utilissima* Pohl). San José, Universidad de Costa Rica, Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno. 105p.
113. MUTHUSWAMY, P. et al. 1974. A study of the micronutrient content in tubers of some cassava cultivars (*Manihot esculenta* Crantz). *South Indian Horticulture* 22(1-2):65-66.
114. ———. 1974. Hydrocyanic acid content of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) peel as affected by fertilizer application. *Curr. Sci.* 43(10):312.
115. NGONGI, A.G.N. 1976. Influence of some mineral nutrients on growth, composition and yield of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). Ph.D. Thesis. Ithaca, N.Y., Cornell University. 215p.
116. ———; HOWELER, R.H. y MACDONALD, H.A. 1977. Effect of potassium and sulphur on growth, yield and composition of cassava. *In* Symposium of the International Society for Tropical Root Crops, 4th., Cali, Colombia, 1976. Proceedings. Ottawa, Canada, International Development Research Centre. pp.107-113.
117. NIJHOLT, J.A. 1935. Opname van voedingsstoffen uit den bodem bij cassave. Buitenzorg Algemeen Proefstation voor den Landbouw. Mededeelingen no. 15. 25p.
118. NITIS, J.M. y SUMATRA, I.G.N. 1976. The effect of fertilizers on the growth and yield of cassava (*Manihot esculenta* var. Gading) undersown with stylo (*Stylosanthes guyanensis* cv. Schofield) at Penebel, Bali. Denpasar, Bali. Universitas Udayana. Fakultas Kedokteran Heivan dan Peternakan. Bulletin no. 048. 13p.
119. ———. 1977. *Stylosanthes* as companion crop to cassava (*Manihot esculenta*). Denpasar, Bali. Udayana University. Faculty of Veterinary Science and Animal Husbandry. IFS Research Grant Agreement no. 76. 88p.

120. NOP-AMORNBORDEE, V. et al. 1968? Methods of nitrogen application for cassava; effect of slowly releasing nitrogen fertilizers. *In* Thailand. Department of Agriculture. Agricultural Chemistry Section. Annual report for 1967. pp.1114-1119.
121. NORMANHA, E.S. 1951. Adubação da mandioca no Estado de São Paulo. I. Efeito da adubação mineral. *Bragantia* 11 (7-9):181-194.
122. ____ y FREIRE, E.S. 1959. Consequencias da aplicação de adubos em contato com ramas de mandioca. *Bragantia* 18:1-4.
123. _____. 1960. Adubação do mandiocal e mamoneiras em terras fracas. *Chácaras e Quintaes* 10(2):162.
124. _____. 1961. Adubação da mandioca. *Fir.* 3(8):18-19.
125. _____. 1965. Estudos sobre mandioca brava. *Ciência e Cultura (Brasil)* 17(2):196.
126. _____. PEREIRA, A.S. y FREIRE, E.S. 1968. Modo e época de aplicação de adubos minerais em cultura de mandioca. *Bragantia* 27(12):143-154.
127. NUNES, W. DE O. et al. 1974. Resposta da mandioca à adubação mineral e a métodos de aplicação do potássio em solos de baixa fertilidade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Série Agronomia* 9(9):1-9.
128. OBIGBESAN, G.O. 1973. The influence of potassium nutrition on the yield and chemical composition of some tropical root and tuber crops. *In* International Potash Institute, Colloquium, 10th., Abidjan, Ivory Coast. pp.439-451.
129. _____. y FAYEMI, A.A.A. 1976. Investigations on Nigerian root and tuber crops. Influence of nitrogen fertilization on the yield and chemical composition of two cassava cultivars (*Manihot esculenta*). *J. Agric. Sci.* 86(2):401-406.
130. _____. 1977. Investigations on Nigerian root and tuber crops: response of cassava cultivars to potassium fertilizer in Western Nigeria. *J. Agric. Sci.* 89:23-27.
131. _____. y MATULUKU, E.O. 1977. Effect of potassium and bacterial blight on the yield and chemical composition of cassava cultivars. *In* Symposium of the International Society for Tropical Root Crops, 4th., Cali, Colombia, 1976. Proceedings. Ottawa, Canada, International Development Research Centre. pp.185-188.
132. OFORI, C.S. 1970. Absorption and translocation of phosphate through cassava tubers (*Manihot esculenta* Crantz). *Ghana J. Agric. Sci.* 3:203-205.
133. _____. 1973. Decline in fertility status of a tropical forest ochrosol under continuous cropping. *Exp. Agric.* 9(1):15-22.

134. ORIOLI, G.A. et al. 1967. Acumulación de materia seca, N, P, K y Ca en *Manihot esculenta*. *Bonplandia* 2(13):175-182.
135. PAGES, A. 1955. Sur la composition minerale des feuilles de certaines plantes entrant dans la ration alimentaire habituelle de la population des Hauts-Plateaux de Madagascar. *Naturaliste Malgache* 7(2):215-218.
136. PAYNE, H. y WEBSTER, D.C. 1956? The toxicity of cassava varieties on two Jamaican soil types of differing potassium status. Kingston, Jamaica, Ministry of Agriculture and Fisheries. Crop Agronomy Division. 3p.
137. PREVOT, P. y OLLAGNIER, M. 1958. La fumure potassique dans les régions tropicales et subtropicales. *In Potassium Symposium*, Berne. pp.277-318.
138. PURSEGLOVE, J.W. 1974. Manihot. *In* _____. *Tropical Crops - Dicotyledons*. Longman Group Ltd., London, 3rd printing. pp.172-180.
139. RAMIREZ, A. 1978. Fertilización de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *In Informe de Progreso 1978*. Programa Nacional de Suelos, ICA, Colombia.
140. ROCHE, P.; VELLY, J. y JOLIET, B. 1957. Essai de détermination des seuils de carence en potasse dans le sol et dans les plantes. *Rev. de la Potasse*. 5p.
141. RODRIGUEZ J., M. 1975. Fertilización de la yuca. *In Curso sobre producción de yuca*. Medellín, Instituto Colombiano Agropecuario, Regional no. 4. pp.119-123.
142. ROGERS, D.J. y APPAN, S.G. 1971. A general description of the cassava (*Manihot esculenta*, Crantz) plant, the areas of production and its importance in world food supply. *In Hendershott, C.H. et al. A literature review and research recommendations on cassava (Manihot esculenta, Crantz)*. AID Contract c.s.d./2497. Athens, Ga, University of Georgia. pp.1-55.
143. ROSS, H.B. 1975. The diffusion of the manioc plant from South America to Africa; an essay in ethnobotanical culture history. Ph.D. Thesis. New York, Columbia University, Faculty of Political Science. 135p.
144. SAMUELS, G. 1970. The influence of fertilizer levels and sources on cassava production on a Lares clay in Puerto Rico. *In Annual Meeting C.F.C.S., 7th., Martinique, Guadeloupe, 1969. Proceedings*. pp.33-36.
145. SANTANA, A.M.; CARVALHO, J.E.B. DE y BORGES, I.O. 1975. Competição de fontes de nitrogenio em solos para mandioca. *In Cruz das Almas, Brasil*.

Universidade Federal da Bahia. Escola de Agronomia/BRASCAN NORDES-
TE. Série Pesquisa v.1 no. 1. pp.39-55.

146. _____ y CARVALHO, J.E.B. DE 1979. Tres niveis de adubação NPK na cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Congreso Brasileiro de Mandioca. Salvador, Bahia, Brasil.
147. SARASWAT, V.N. y CHATTIAR, T.S. 1976. Effect of organic and inorganic sources of nitrogen on cassava (*Manihot utilissima* L.). Indian Agric. 20(1):23-26.
148. SCHMITT, J. 1955. Cultivo abundante y explotación industrial de la yuca. Suelo Tico 8(34):152-158.
149. SENA, Z.F. DE y CAMPOS, H. DOS R. 1973. Estudo do sistema radicular da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) submetidas a diferentes frequencias de irrigação. Cruz das Almas, Brasil. Universidade Federal da Bahia. Escola de Agronomia/BRASCAN NORDESTE. Série Pesquisa 1(1):41-52.
150. SILVA, J.R. DA 1965. Efeito de certos adubos quimicos sobre o stand da mandioca. Ciência e Cultura 17(2):193-194.
151. _____ y FREIRE, E.S. 1968. Influencia da aplicação de adubos minerais nos sulcos de plantio sobre os "stands" de culturas de mandioca. Bragantia 27(6):291-300.
152. _____ y FREIRE, E.S. 1968. Efeito de doses crescentes de nitrogenio, fósforo e potássio sobre a produção de mandioca em solos de baixa e alta fertilidade. Bragantia 27(29):357-364.
153. SINHA, S.K. 1969. Cyanogenic glucoside production and its possible control in cassava. Indian J. Plant Physiol. 12(½):140-147.
154. SIQUEIRA, L.A. 1973. Mandioca: resultados experimentais. Cruz das Almas, Brasil. Ministério de Agricultura. Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Leste. Circular no. 36. 34p.
155. SITTIBUSAYA, C.; UTAYAPAT, P. y NAKAVIROJANA, C. 1974. A study on the method of fertilizer application for cassava. Progress report on soils and fertilizer studies of field crops for 1974. pp.172-175.
156. _____ y KURMAROHITA, K. 1978. Soil fertility and fertilization. Bangkok, Thailand, Department of Agriculture. 18p. Paper presented at Workshop on Cassava Production and Utilization, Khon Khaen, Thailand, 1978.
157. SOLORZANO V., N. y BORNEMISZA, E. 1976. Estudios del cultivo de yuca en Costa Rica. II. Composición química y producción de tres cultivares. Turrialba 26(3):261-264.

158. SPAIN, J.M. et al. 1975. Differential species and varietal tolerance to soil acidity in tropical crops and pastures. *In* Bornemisza, E. and Alvarado, A., eds. Soil management in tropical America. Raleigh, North Carolina, University Consortium on Soils of the Tropics. Soil Science Department. pp.308-329.
159. SPEAR, S.N.; ASHER, C.J. y EDWARDS, D.G. 1978. Response of cassava, sunflower, and maize to potassium concentration in solution. I. Growth and plant potassium concentration. *Field Crops Research* 1:347-361.
160. _____; ASHER, C.J. y EDWARDS, D.G. 1978. Response of cassava, sunflower, and maize to potassium concentration in solution. II. Potassium absorption and its relation to growth. *Field Crops Research* 1:363-373.
161. _____; EDWARDS, D.G. y ASHER, C.J. 1978. Response of cassava, sunflower, and maize to potassium concentration in solution. III. Interactions between potassium, calcium, and magnesium. *Field Crops Research* 1:375-389.
162. _____; EDWARDS, D.G. y ASHER, C.J. 1978. Effects of nutrient supply on critical nutrient concentrations in cassava plants. *In* Ferguson, A.R.; Bielecki, R.L. and Ferguson, I.B., eds. International Colloquium on Plant Analyses and Fertilizer Problems, 8th., Auckland, New Zealand, 1978. Proceedings.
163. _____; EDWARDS, D.G. y ASHER, C.J. 1979. Response of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) to potassium concentration in solution: critical potassium concentrations in plants grown with a constant or variable potassium supply. *Field Crops Research* (en imprenta).
164. STEPHENS, D. 1960. Fertilizer trials on peasant farms in Ghana. *Emp. J. Exp. Agric.* 28(109):1-15.
165. STEWART, B.A. y PORTER, L.K. 1969. Nitrogen-sulphur relationships in wheat (*Triticum aestivum* L.), corn (*Zea mays*) and beans (*Phaseolus vulgaris*). *Agron. J.* 61:267-271.
166. TAKYI, S.K. 1972. Effects of potassium, lime and spacing on yields of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Ghana J. Agric. Sci.* 5(1):39-42.
167. _____. 1974. Effects of nitrogen, planting method and seedbed type on yield of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Ghana J. Agric. Sci.* 7(2):69-73.
168. TAN, K.H. y BERTRAND, A.R. 1972. Cultivation and fertilization of cassava. *In* Hendershott, C.H. et al. A literature review and research recommendations on cassava. Athens, Ga, University of Georgia. pp.37-72.
169. TARAZONA, C.; MARIN, G. y LEON, A. 1973. Respuesta de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) a la fertilización en parcelas demostrativas. Bogotá, Instituto Colombiano Agropecuario. 38p.

170. VIJAYAN, M.R. y AIYER, R.S. 1969. Effect of nitrogen and phosphorus on the yield and quality of cassava. *Agric. Res. J. Kerala* 7(2):84-90.
171. YOST, R.S. y FOX, R.L. 1979. Contribution of mycorrhiza to the P nutrition of crops growing on an Oxisol. *Agron. J.* 71:903-908.
172. ZAAG, P. VANDER et al. 1979. P nutrition of cassava, including mycorrhizal effects on P, K, S, Zn and Ca uptake. *Field Crops Research* 2(3):253-263.

