

TECNOLOGÍAS MODERNAS PARA LA PRODUCCIÓN DE YUCA



FUNDACIÓN PROMOTORA
DEL CANAL DEL DIQUE

TECNOLOGÍAS MODERNAS PARA LA PRODUCCIÓN DE YUCA



FUNDACION PROMOTORA
DEL CANAL DEL DIQUE

Este documento hace parte del Proyecto:
“Apoyo al establecimiento de nuevas áreas agrícolas y/o mejoramiento de áreas ya establecidas, de pequeña y mediana escala”.

Subproyecto:
Poscosecha de yuca

Tecnologías Modernas para la Producción de Yuca

Parte de la información que contiene esta Cartilla ha sido extractada del libro “La Yuca en el Tercer Milenio: Sistemas Modernos de Producción, Procesamiento, Utilización y Comercialización”. Obra dirigida por Bernardo Ospina, Director Ejecutivo de la Corporación CLAYUCA, y Hernán Ceballos, Líder de Mejoramiento de Yuca del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), publicado en 2002. 586 p. ISBN 958-694-043-8

Diseño e impresión: Corporación CLAYUCA. Abril, 2015
Palmira, Colombia
Teléfono: (57-2) 445 01 59
Fax: (57-2) 445 00 73
E-mail: b.ospina@clayuca.org

CONTENIDO

	Página
1. Conservación del Suelo Dedicado al Cultivo de la Yuca	1
2. Semilla Vegetativa de Yuca	29
3. Metodología para el Endurecimiento Masivo de Vitroplantas de Yuca	39
4. Fertilización del Cultivo de la Yuca	53
5. Control de Malezas en el Cultivo de la Yuca	109
6. Enfermedades del Cultivo de la Yuca	113
7. Sistemas Mecanizados de Siembra y Cosecha para el Cultivo de la Yuca	131



1. CONSERVACIÓN DEL SUELO DEDICADO AL CULTIVO DE LA YUCA

Luis Fernando Cadavid*, Luis Miguel López**

El cultivo de la yuca se considera rústico y de amplia adaptación a una gama de suelos, climas, además de soportar largos períodos de sequía. Se siembra en suelos con textura arenosa, hasta arcillosa, pasando por los francos y en altitudes desde el nivel del mar hasta los 1700 m, temperatura promedio de 24 °C y humedad relativa cercana al 72%.

La Tabla 1-1 reseña las principales características químicas y físicas de los suelos donde se siembra yuca en Colombia. Como se observa, un alto porcentaje de estos suelos, que ocupan un área grande de nuestro territorio nacional, presentan bajos contenidos de N, P, K, Ca, Mg, S, B y Zn (Figura 1-1). Esto es una limitante para el desarrollo y crecimiento del cultivo, de acuerdo con los niveles críticos de parámetros del suelo establecidos para revisar, evaluar el potencial de fertilidad de terrenos dedicados a siembras de yuca.

Por lo regular, este cultivo se ha sembrado en áreas planas o en regiones con pendientes menores que 15%; sin embargo, por la presión del hombre sobre la tierra para producir alimentos, se han involucrado tierras de ladera para sembrar yuca y cambiar así su uso potencial. Según Cadavid L (1987-1990/97) y Howeler y Cadavid (1984), el resultado ha sido desalentador al incrementarse la deforestación y, por ende, la pérdida de suelo por erosión (erosión hídrica o antrópica), pérdida de nutrientes del suelo por escorrentía y alta extracción por el cultivo (desgaste químico) (Figura 1-2).

En las últimas décadas, la erosión del suelo ha aumentado alarmantemente, debido al mal uso de este recurso. Esta degradación de los suelos tanto física (compactación y erosión hídrica) como química (pérdida de nutrientes, salinización, acidificación, contaminación y otros) especialmente en ladera y producida por el hombre, ha causado una pobreza generalizada entre los habitantes del campo y, como consecuencia, se ha dado una masiva migración de esta población hacia las grandes ciudades, creándose así más cinturones de miseria (Cadavid, 1990).

Colombia tiene 114,179,000 ha, de las cuales 49.5% presentan alguna forma de erosión, siendo las más críticas la moderada y la ligera. En 9,705,150 de estas hectáreas (8.52%), la situación del suelo es grave, quizá de difícil recuperación, según datos reseñados en el Tabla 1-2 (IGAC, 1987, citado por Cobo, 1998).

Howeler (1986) indica que, según un estudio de las Naciones Unidas, en Colombia se pierden cada año 426 millones de toneladas de suelo, lo que corresponde a 3.7 t/ha de superficie del territorio nacional. Un ejemplo lo tenemos en el alto Cauca, donde según Suárez (1984), citado por Cadavid L (1987-1990), de las 2,200,000 ha (área de jurisdicción de la CVC), 800,000 presentan problemas de erosión, y de ellas, 100,000 tienen erosión crítica de grado severo a muy severo (Tabla 1-3).

Actualmente en Colombia, según el Ministerio del Medio Ambiente (2014), el 48 % del territorio presenta procesos de desertificación; es decir, de erosión del suelo, lo que equivale a cerca de 49 millones de hectáreas de la superficie del país. La Región Andina (principalmente Caldas) es la zona más afectada con un 80 % del espacio afectado, puesto que en este sector, el país avanza a un ritmo de 2.000 hectáreas por año (Figura 1-3).

* Ingeniero Agrónomo, M. Sc. Suelos. E-mail: luisfernandocadavidlopez@yahoo.es

** Ingeniero Agrónomo. E-mail: llopezluism@hotmail.com



Tabla 1-1. Características químicas y físicas de los suelos donde se siembra yuca en Colombia.

Sitio	Depto.	pH 1:1	M.O. (%)	Al Na Ca Mg K					Sat. Al (%)	Sat. Na (%)	P	S	Zn B Mn			CE ^a (mmhos/ cm)	Textura Bouyoucos ^b	DA (g/cm ³)
				(meq/100 g)									(ppm)					
Nus	Antioquia	5.1	4.0	0.70	—	1.60	0.70	0.10	22.6	—	7.0	—	2.00	0.10	—	—	FArA	1.40
Luruaco	Atlántico	7.5	2.7	—	0.39	22.10	10.10	0.45	—	1.18	42.5	—	—	—	—	Ar	1.5	
Malambo	Atlántico	6.2	0.6	—	0.17	1.67	1.00	0.06	—	5.86	4.2	—	—	—	—	A	—	
Caloto	Cauca	5.7	10.4	—	—	21.40	12.00	0.20	—	—	3.0	—	—	—	—	Ar	—	
S. de Quilichao	Cauca	4.3	8.1	2.73	—	1.95	0.82	0.22	47.7	—	10.5	—	2.40	0.46	—	Ar	1.00	
Paz de Ariporo	Casanare	4.7	0.9	1.40	0.10	0.18	0.06	0.10	76.1	5.43	3.5	—	0.26	—	0.86	FA	1.50	
Paz de Ariporo	Casanare	4.5	2.2	2.00	0.11	0.10	0.06	0.16	82.3	4.53	2.0	—	0.27	—	3.09	FA	1.50	
Yopal	Casanare	4.5	1.9	3.70	0.10	1.40	0.90	0.20	58.7	1.58	97.0	1.5	4.90	0.10	—	F	—	
Ayapel	Córdoba	4.8	2.8	2.20	—	0.30	0.20	0.05	80.0	—	3.0	—	1.00	0.20	—	ArA	1.30	
Ricaurte	C/marca	7.5	2.2	—	0.16	26.55	3.00	0.48	—	0.53	215.0	—	—	—	—	FArL	1.50	
Armenia	Quindío	5.8	1.6	0.15	0.22	4.63	0.86	0.49	2.4	3.46	21.0	7.0	5.80	0.04	0.18	FA	1.40	
Barragán	Quindío	5.6	2.9	0.18	0.10	4.50	1.40	0.45	2.7	1.50	36.0	9.0	16.0	0.01	—	FL	1.20	
Montenegro	Quindío	5.5	2.1	0.08	0.28	3.17	0.86	0.83	1.5	5.36	30.0	8.0	7.00	0.10	0.25	FA	1.43	
Villavicencio	Meta	4.7	4.6	2.86	—	0.49	0.17	0.13	78.4	—	11.8	—	0.30	—	—	Ar	1.30	
La Tebaida	Quindío	6.0	1.1	—	0.09	5.10	2.36	0.59	—	1.11	9.0	0	7.70	0.01	0.41	FA	1.40	
Montenegro	Quindío	5.5	0.7	0.12	0.09	4.45	1.11	0.74	1.8	1.38	26.0	3.0	0.30	0.01	0.50	FA	1.40	
Candelaria	Valle	6.9	1.4	—	0.46	11.30	4.62	0.39	—	2.74	83.0	—	—	—	—	FArA	1.35	
El Zulia	Norte de Sant.	6.3	2.9	—	—	0.77	1.70	0.60	—	—	108.0	—	2.60	—	—	ArA	—	
El Zulia	Norte de Sant.	6.9	2.7	—	—	4.20	1.40	0.32	—	—	15.0	—	4.50	—	—	FArA	1.50	
San Cayetano	Norte de Sant.	5.2	1.9	0.20	—	1.30	0.60	0.14	8.9	—	2.0	—	14.80	—	—	ArA	—	
LQ1 CIAT	Valle	6.8	2.8	—	0.17	14.90	7.32	0.36	—	0.74	41.5	15.0	3.70	0.56	—	ArL	1.49	
LN3 CIAT	Valle	6.9	6.1	—	0.17	9.21	7.60	0.85	—	0.95	79.0	35.5	—	0.62	—	FAr	1.60	
Jamundí	Valle	4.7	6.0	1.59	—	3.24	0.71	0.39	26.8	—	6.3	127.4	3.20	0.49	—	Ar	1.10	
B/bermeja	Santander	4.8	2.4	1.47	—	1.25	0.37	0.06	16.7	—	2.8	—	0.40	0.20	2.60	FArA	1.34	
El Zulia	Norte de Sant.	6.1	1.0	—	0.08	2.50	0.42	0.13	—	2.56	5.0	5.0	2.10	0.32	27.30	FAr	1.35	
LP3 CIAT	Valle	7.2	2.2	—	0.26	12.62	8.36	0.77	—	1.18	53.5	0.33	4.83	0.78	0.69	ArL	1.60	
Jamundí	Valle	5.0	6.0	0.26	—	5.86	1.47	0.72	3.1	—	5.3	95.5	3.28	0.54	—	Ar	1.10	
Buga	Valle	6.3	1.4	—	0.22	8.33	5.56	0.11	—	1.55	40.2	42.0	4.08	0.35	—	FAr	1.58	
Caicedonia	Valle	5.5	2.6	0.21	—	5.42	0.74	0.38	3.1	—	49.8	46.2	9.47	0.39	—	FArA	1.35	
Ortega	Tolima	7.4	1.4	—	0.23	19.90	4.10	0.56	—	0.93	44.9	—	0.70	—	52.6	FA	1.50	
Purificación	Tolima	6.8	0.5	—	0.17	11.30	3.90	0.42	—	1.08	40.9	—	2.30	—	37.3	FA	1.50	
Agua Azul	Casanare	5.5	0.8	0.09	1.09	3.76	1.21	0.46	1.4	16.5	47.0	15.0	6.60	0.03	41.0	FA	—	
Sardinata	Norte de Sant.	5.1	1.8	0.40	—	0.90	0.40	0.08	22.5	—	18.0	—	0.10	—	36.2	FAr	1.35	
Espinal	Tolima	6.0	0.3	—	0.33	4.50	1.10	0.17	—	5.40	23.3	—	—	—	—	FA	1.40	
Mondomo	Cauca	4.5	7.2	5.70	—	0.79	0.30	0.23	73.0	—	1.76	—	—	—	—	Ar	0.87	
Pescador	Cauca	4.6	8.5	3.10	—	0.47	0.15	0.11	81.0	—	1.20	—	—	—	—	Ar	—	
Santo Tomás	Atlántico	5.8	1.5	—	—	1.43	0.41	0.11	—	—	3.10	—	—	—	—	A	1.48	
Media Luna	Magdalena	6.1	0.2	—	—	0.87	0.28	0.05	—	—	8.3	—	—	—	—	A	1.50	

a. CE = conductividad eléctrica.

b. A = arenoso, FA = franco arenoso, Ar = arcilloso, FAr = franco arcilloso, FArA = franco arcillo-arenoso, ArA = arcilloso arenoso, FArL = franco arcillo-limoso, ArL = arcilloso limoso.

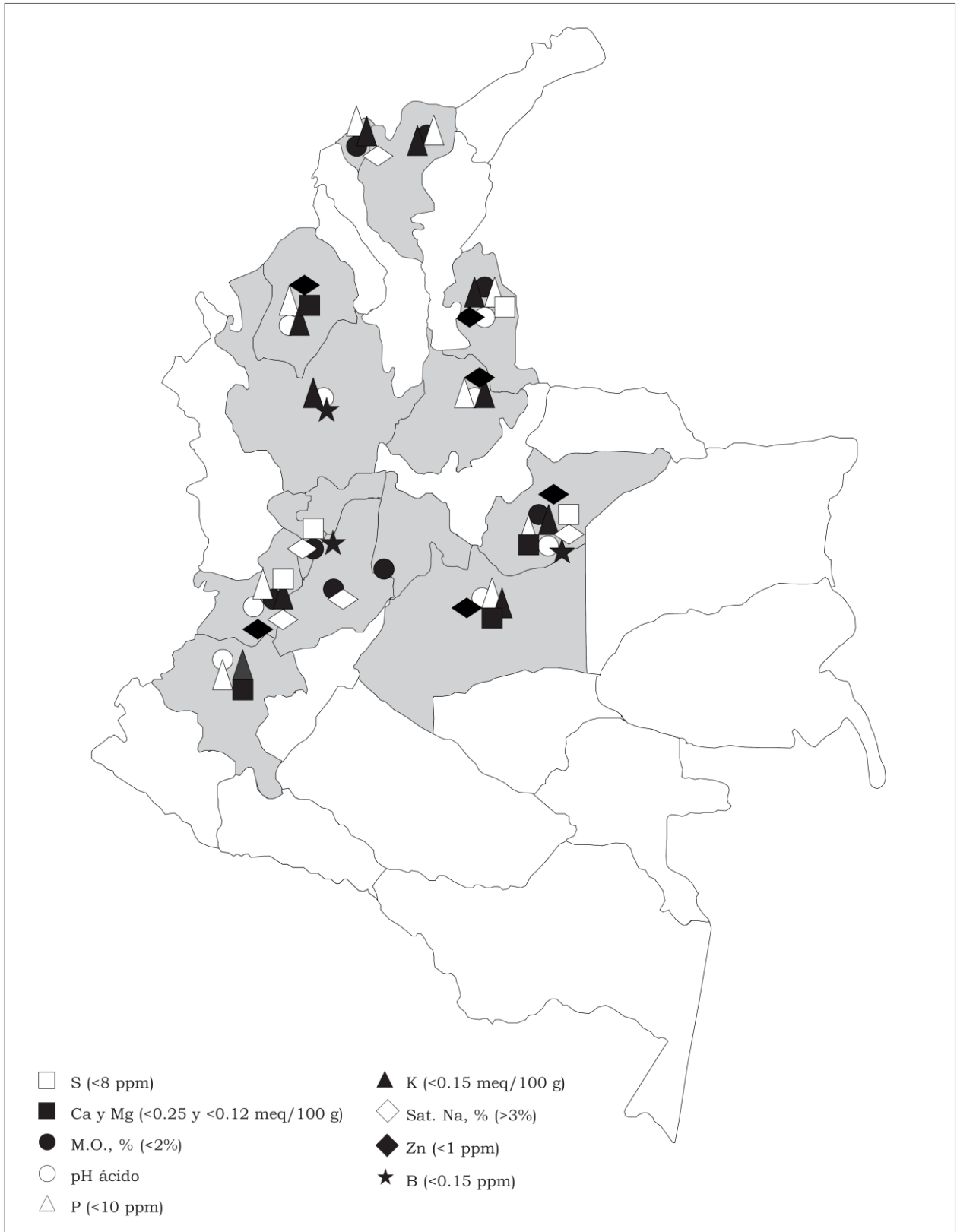


Figura 1-1. Problemas nutricionales del cultivo de la yuca por regiones en Colombia.



Figura 1-2. Deforestación y erosión en suelos de ladera dedicados a yuca en Colombia.

Tabla 1-2. Registros de erosión en Colombia.

Intensidad	Intensidad actual de la erosión en Colombia	
	Área afectada (ha)	Relación con superficie del país (%)
Muy severa	829,575	0.73
Severa	8,875,575	7.79
Moderada	14,706,795	12.90
Ligera	26,337,546	23.11
Muy ligera	5,675,950	4.96
Sin erosión	55,508,310	48.53
Otras áreas ^a	2,259,049	1.98
Total	114,174,800	

a. Corresponden a ciénagas, pantanos, ríos y zonas urbanas.
Fuente: Cobo, 1998

Tabla. 1-3. Grados de erosión con la ecuación universal de pérdida de suelo.

Pérdida (t/ha por año)	Grado
10	1 muy débil
10 a 20	2 débil
20 a 100	3 moderado
100 a 300	4 alto
300	5 muy alto
	0 daño irreversible

Fuente: Curiel (1986), citado por Cadavid, 1987.

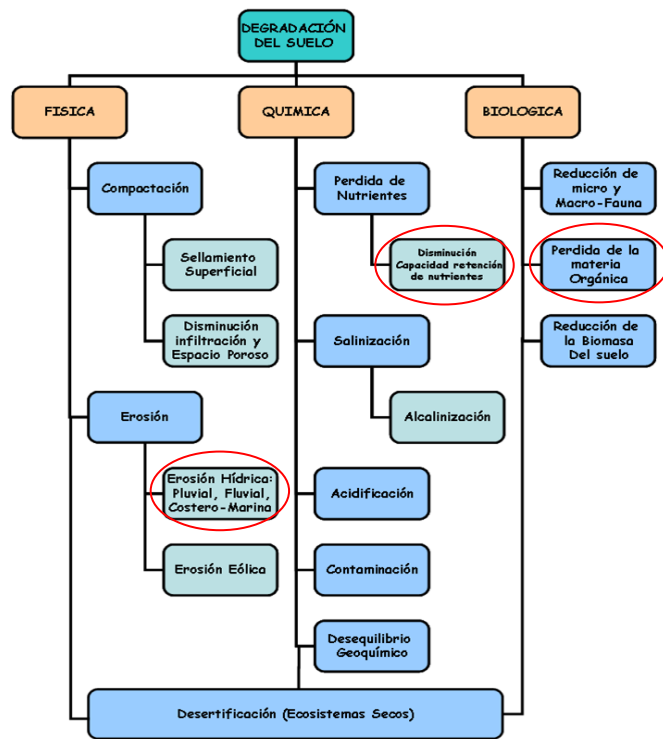


Figura 1-3. Principales efectos de la degradación de suelos en Colombia (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales).



De acuerdo con el Ministerio del Medio Ambiente (2014), la región Caribe presenta porcentajes de erosión en sus suelos que abarcan alrededor del 94% del territorio; casi el 52% de su superficie total afectada por procesos erosivos altos a muy altos, porcentajes que expresan la severidad del problema y que indican la magnitud del esfuerzo que la sociedad debe realizar para recuperar tierras agrícolas (Figura 1-4).



Figura 1- 4. Suelos afectados por procesos de degradación. Departamento de Córdoba.
Fuente: Reinaldo Sánchez (IDEAM).

Estas zonas se ubican principalmente en Córdoba, Cundinamarca, Santander, La Guajira (cuyo caso es particular, pues la península no se muestra totalmente erosionada), Atlántico, Magdalena, Sucre, Tolima, Quindío, Huila y Boyacá. En total hay 3 millones de hectáreas en estado muy severo, donde restaurar sería casi imposible o se incurriría en cuantiosas inversiones; otras 19 millones de hectáreas están en estado moderado, y 22 millones en ligera.

El 5 % de los suelos del país son altamente susceptibles a la salinización; es decir, acumulación de sales solubles en agua, lo que corresponde a aproximadamente 58.563 km², y recomiendan que una de las formas más comunes que debería implementarse para evitar la deforestación de los suelos es por medio de la planificación, esa que permite conocer las características del suelo y en función de esto se les dé un uso adecuado para establecer el correcto uso del territorio.

Es importante resaltar que, en el país, un alto porcentaje de yuca está sembrado en la zona de ladera, en pendientes superiores a 15%, en suelos infértiles y con un manejo inadecuado. Por citar algunos casos, en la región de Mondomo, Pescador, San Antonio, al norte del Cauca; áreas de ladera del norte del Valle del Cauca; muchas zonas del Quindío, Risaralda, Tolima y Norte de Santander, se siembra yuca con el sistema actual de producción, o sea, monocultivo, dos o más siembras continuas y sin prácticas agronómicas de manejo. En la Costa Atlántica, la yuca tradicional y tecnificada, se da en terrenos con pendientes menores del 10%, esto lo podemos observar en regiones de Sucre, Córdoba, Magdalena y Bolívar (Figura 1-5).

Exceptuando los suelos de Quindío, Risaralda y Norte de Santander, muchas de estas regiones presentan suelos con muy bajos contenidos de P, K, Ca, Mg, Zn (Tabla 1-1), presentándose deficiencias especialmente de fósforo y potasio y, por ende, rendimientos por debajo de 10 t/ha, como lo indica la Figura 1-6 (Cadavid, 1997). Allí se observa cómo el estado de erosión del suelo fue determinante en el rendimiento y que la sola aplicación de P no puede restablecer la productividad del suelo perdido por esta causa (Howeler, 1984).

En la Costa Atlántica, las características de los suelos dedicados al cultivo de la yuca industrial, presentan muy bajos contenidos de N, P, B, Fe, contenidos medios a bajos de K, S, Zn, y altos en Ca, Mg, Na y Mn. Presentándose deficiencias especialmente de N y P; y posibles deficiencias de K por su baja saturación en el suelo, causada por los altos contenidos de Ca y Mg.



Figura 1-5. Topografía de suelos dedicados al cultivo de yuca industrial en Sucre.

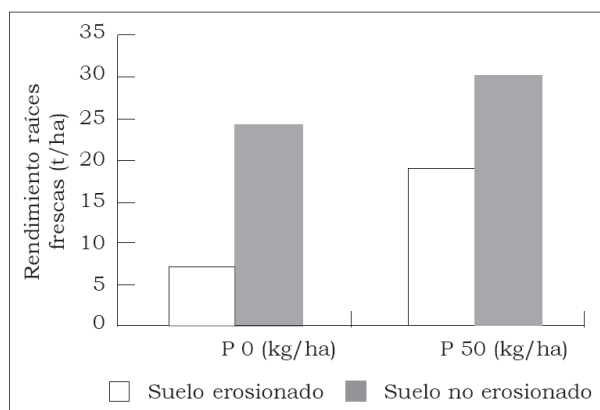


Figura 1-6. Efecto de la aplicación de P sobre la producción de yuca cv. CMC-92, en suelo erosionado y no erosionado en Mondomito, Cauca, Colombia. Fuente: Howeler y Cadavid (1984), citados por Cadavid, 1997.

Debido a prácticas inadecuadas de manejo del suelo y del cultivo de la yuca en un suelo clasificado como Inceptisol (Typic dystrandep) en Mondomo, Cauca, Colombia (Andosol en la reciente clasificación), se perdieron alrededor de 100 t/ha de suelo seco en una siembra de yuca que alternaba con caupí (*Vigna sinensis*), después de 10 meses, como se observa en la Figura 1-7 (Howeler, 1984, Cadavid, 1990). También, en el mismo suelo, cuando la yuca se sembró en monocultivo y sin prácticas agronómicas de manejo, se perdieron alrededor de 40 t/ha de suelo seco en un ciclo de 10 meses (Figura 1-7).

La Tabla 1-4 indica la pérdida de suelo, según su manejo, en un campo en Agua Blanca, Mondomo, Cauca, Colombia, sembrado con yuca (cv. CMC 92, Batata y Regional Amarilla) durante un ciclo de 14 meses. Como se observa, las pérdidas de suelo son altas a medida que se intensifica la labor de preparación y se incrementan aún más cuando no se aplican fertilizantes.

Debido a éstas y otras prácticas inadecuadas de uso y manejo del suelo, la región de Mondomo y otras similares en el territorio nacional, muestran síntomas de erosión hídrica, degradación química (alta extracción por el cultivo y escorrentía) y degradación biológica en grado severo (Figura 1-8).

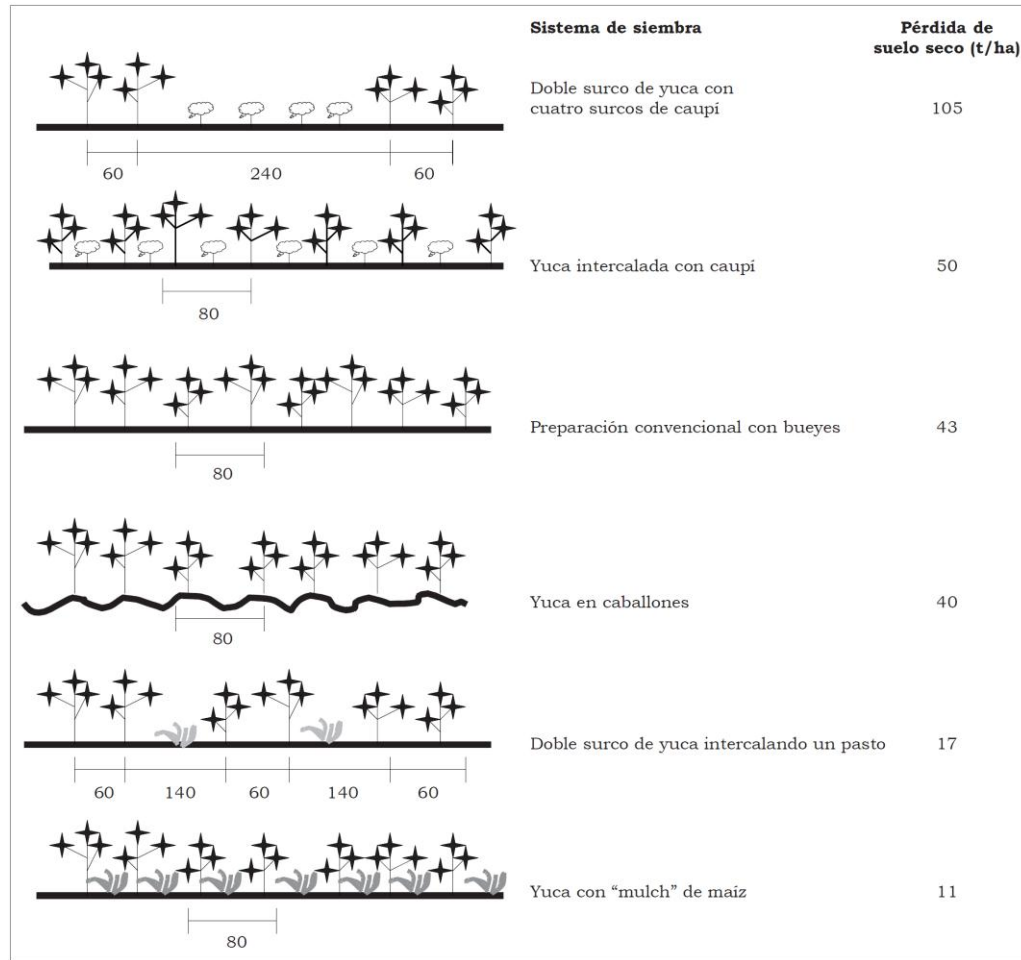


Figura 1-7. Efecto de varios sistemas de siembra de yuca, en Mondomito, en la pérdida de suelo por erosión durante 10 meses. Fuente: Howeler y Cadauid, 1982.

Tabla 1-4. Rendimiento de yuca y cantidad total de suelo erosionado que recibe varias prácticas de conservación de suelo en Agua Blanca, Cauca, Colombia.

Tratamiento	Rendimiento ^a yuca (t/ha)	Suelo seco ^b erosionado (t/ha)
1. Preparación con bueyes; aplicación de cal, sin abono, siembra a 80 x 80 cm	6.9	35.9
2. Preparación con bueyes; aplicación de cal y abono, siembra a 80 x 80 cm	13.6	22.9
3. Preparación con bueyes; aplicación de cal y abono; aplicación de mulch de maíz; siembra a 80 x 80 cm	15.9	15.1
4. Preparación con azadón de franjas de 1 m con doble surco; 1 m sin preparar	15.6	14.1
5. Preparación con bueyes; doble surco: yuca alternando con 1 m de pasto imperial	15.8	19.8
6. Preparación con bueyes; doble surco: yuca alternando con 1 m de pasto Brachiaria	13.3	9.8
7. Sin preparación; siembra con barretón a 80 x 80 cm; aplicación de cal y abono	17.6	9.8

a. Promedio de tres variedades: CMC 92, Batata y Regional Amarilla.

b. Durante 14 meses entre siembra y cosecha de yuca.

Fuente: Howeler, 1984.



Figura 1-9. Erosión hídrica y arrastre de material en suelos dedicados al cultivo de yuca industrial en Córdoba y Sucre.

Según estos resultados alarmantes, se ha demostrado que para que se forme 1 cm de suelo a partir de un material arenoso se requiere que transcurran de 200 a 400 años o 3000 a 12,000 años para que se desarrolle un suelo profundo, apto para ser cultivado (Ortiz, 1986). Sin embargo, es paradójico que en un lapso no mayor a 10 años, en un terreno con pendiente fuerte y sin ninguna práctica de conservación que lo proteja de la erosión, se pierda una capa hasta de 1 cm de espesor (Torres, 1981).

Manejo Productivo de Suelos Dedicados al Cultivo de la Yuca

A pesar de las limitantes ya mencionadas, existen alternativas que pueden ser viables para recuperar, conservar y aumentar la fertilidad y productividad de los suelos dedicados al cultivo de la yuca, e incrementar el rendimiento en términos de raíces tuberosas, mayor calidad de éstas y material de siembra de excelente vigor.

Manejo de suelos de ladera

Con el actual manejo de los suelos de ladera destinados al cultivo de la yuca, los agricultores obtienen rendimientos muy bajos y causan daños irreversibles al suelo por la alta tasa de erosión. Se sugiere intensificar el cultivo y volverlo más rentable al aumentar el rendimiento por hectárea; esto, a su vez, hace factible la reducción en el área de siembra y en los sistemas de preparación, dejando los suelos más pendientes en barbecho o para uso forestal (Howeler, 1984).

La idea es cambiar el esquema de agricultura migratoria o de subsistencia predominante en muchas áreas del trópico americano y llegar a una agricultura sostenible, más rentable y competitiva.

Para lograr este objetivo, la Tabla 1-5 reseña algunas alternativas de manejo que pueden ser viables; están apoyadas en varios trabajos de investigación sobre el tema.

Efecto de la preparación del suelo

Por lo general, se cree que para que el cultivo de la yuca tenga éxito en su germinación, crecimiento y desarrollo, es necesario el empleo indiscriminado de maquinaria agrícola (arados, rastrillos, rotovator) para roturar el suelo y dejarlo lo más suelto posible para la siembra. Esto proporciona consecuencias negativas no sólo en la estructura, agregación y compactación del suelo, sino que permite la posterior pérdida de suelo por erosión (Cadavid, 1987).



Tabla 1-5. Prácticas para mejorar el manejo de suelos de ladera y aumentar los rendimientos del cultivo de la yuca.

1. Mejorar el material de siembra mediante selección y tratamiento de las estacas.
2. Reducción del área sembrada empleando mejores técnicas de cultivo y disminuyendo la siembra en pendientes fuertes.
3. Reducción en la preparación de la tierra (cero y mínima labranza).
4. Preparar el suelo y sembrar según curvas de nivel.
5. Uso de una fertilización adecuada.
6. Sembrar franjas de barreras vivas.
7. Cubrir el suelo con mulch de caña, de maíz o de las mismas malezas.
8. Siembra de abonos verdes e incorporación de los mismos.

En suelos con pendientes superiores a 10%, normalmente se emplea la yunta de bueyes y el azadón, pero por la presión que los agricultores ejercen sobre estas tierras para sembrar yuca, y su desconocimiento de técnicas adecuadas de manejo, se observan daños severos en la estructura y pérdida de materia orgánica y de nutrientes por erosión hídrica (Tablas 1-6, 1-7 y 1-8).

Las pérdidas de suelo por erosión pueden disminuir si se reduce la intensidad de la labranza sin afectar significativamente la producción de yuca, y además, siguiendo curvas a nivel, dejando franjas sin preparar, preparando únicamente el sitio de siembra o sin labranza, tal como lo describen las Tablas 1-9, 1-10 y la Figura 1-9 (Cadavid, 1987-1990/95; Howeler, 1982/84).

Tabla 1-6. Pérdida total de suelo seco (t/ha) por erosión después de sacar en esa tierra ocho especies durante el período (1989-93) en Sri Racha, Tailandia. El suelo es franco arenoso y tiene 7% de pendiente.

	Ciclos de cultivo (no.)	Primer período (28 meses)	Segundo período (22 meses)	Total (50 meses)
Yuca para producción de raíces	4	168.5 a	142.8 a	311.3
Yuca para producción de follaje	2	138.5 ab	68.8 b	207.3
Maíz	5	35.5 cd	28.5 d	64.0
Sorgo	5	46.1 cd	42.9 c	89.0
Maní	5	36.2 cd	37.6 cd	73.8
Fríjol mango	6	55.3 cd	70.9 b	126.2
Piña ¹	2	21.3 d	31.4 cd	52.7
Caña de azúcar ²	2	94.0 bc	—	—
Prueba de F		**	**	
CV (%)		42.7	11.4	

1. El segundo ciclo es cultivo por retoño.

2. Solamente durante un segundo período de 28 meses.

Fuente: Putthacharoen et al. (1998), citados por Howeler, 2001.



Tabla 1-7. Nutrientes hallados en los sedimentos erosionados de lotes de yuca que recibieron diversos tratamientos, en Tailandia y en Colombia.

Sitio y tratamiento	Pérdida de suelo seco (t/ha por año)	Nutrientes perdidos (kg/ha por año)			
		N ^a	P ^b	K ^b	Mg ^b
Yuca, 7% de pendiente, en Sri Racha, Tailandia ^c	71.4	37.1	2.18	5.15	5.35
Yuca, 5% de pendiente, en Pluak, Daeng, Tailandia ^d	53.2	22.3	1.25	3.27	—
Yuca plantada, 7% al 13% de pendiente, en Quilichao, Colombia ^e	5.1	11.5	0.16	0.45	0.45
Yuca con cobertura de especie leguminosa, en Quilichao, Colombia ^e	10.6	24.0	0.24	0.97	0.81
Yuca con barreras de pasto, en Quilichao, Colombia ^e	2.7	5.8	0.06	0.22	0.24
Yuca plantada en una pendiente de 12% a 20%, en Mondomo, Colombia ^e	5.2	13.3	1.09	0.45	0.36
Yuca con cobertura de especie leguminosa, en Mondomo, Colombia ^e	2.7	6.5	0.04	0.24	0.20
Yuca con barreras de pasto en Mondomo, Colombia ^e	1.5	3.5	0.02	0.13	0.10

a. N total.

b. P disponible y K y Mg intercambiables.

Fuentes: c. *Putthacharoen et al., 1998*; d. *Tongglum et al., 2000*; e. *Ruppenthal et al. (1997)*, citados en *Howeler, 2001*.

Tabla 1-8. Efecto de dos tratamientos contrastantes de manejo (T₁ y T₂)^a del suelo y del cultivo, tanto en la escorrentía y las pérdidas de suelo por erosión como en los nutrientes perdidos en la escorrentía y en los sedimentos erosionados durante 2 años de cultivo de yuca en una pendiente de 7% a 13%, en Santander de Quilichao y de 13% a 20% en Mondomo, ambos sitios en Colombia, en los años agrícolas 1987-88 y 1988-89.

Variable o elemento	Santander de Quilichao				Mondomo			
	1987-88		1988-89		1987-88		1988-89	
	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂
Escorrentía (m ³ /ha)	950	1750	1400	2420	340	1470	540	1000
Nutrientes perdidos por escorrentía (kg/ha)								
P total	0.16	0.33	0.22	0.47	0.08	0.39	0.13	0.26
K total	1.49	2.79	1.58	3.08	0.61	3.26	1.47	3.96
Ca total	2.67	3.50	2.96	5.45	1.29	5.11	2.88	7.56
Mg total	0.43	0.58	0.30	0.75	0.14	1.22	0.20	1.01
Pérdida de suelo seco (t/ha)	3.00	30.40	5.10	68.00	1.50	33.80	2.60	12.60
Nutrientes perdidos en sedimentos erosionados (kg/ha)								
P de intercambio	0.08	0.41	0.07	1.12	0.01	0.44	0.03	0.18
K de intercambio	0.34	2.73	0.42	5.05	0.17	3.04	0.27	1.11
Ca de intercambio	4.08	32.83	6.94	73.44	2.58	31.10	4.47	11.59
Mg de intercambio	0.25	2.92	0.33	7.08	0.10	3.00	0.19	0.61

a. T₁ = yuca plantada siguiendo curvas de nivel; T₂ = yuca plantada en hileras que siguen la pendiente.

Fuente: *Adaptado de Reining (1992)*, citado por *Howeler, 2001*.



Tabla 1-9. Rendimiento de yuca y cantidad total de suelo erosionado aplicado varias prácticas de conservación de suelo en San Emigdio, Valle, Colombia.

Tratamiento	Rendimiento ^a de yuca (t/ha)	Suelo seco ^b erosionado (t/ha)
1. Preparación de todo el terreno con pica; aplicación de abono, siembra de yuca a 80 x 80 cm	24.1	3.2
2. Preparación con pica de franjas de 5 m sembradas con yuca a 80 x 80 cm, alternadas con franjas de 1 m sin preparar	20.1	2.0
3. Preparación con pica; aplicación de abono; siembra de dos surcos de yuca alternados con 1 surco de <i>Brachiaria humidicola</i>	9.7	2.6
4. Preparación con pica; aplicación de abono y 'mulch' de maíz; siembra a 80 x 80 cm	18.7	0.3
5. Preparación con pica; franjas de 1 m con doble surco de yuca, alternadas con 1 m sin preparar	30.5	2.2
6. Sin preparación y con abono; siembra con barretón a 80 x 80 cm	21.6	1.9
7. Preparación con poca aplicación de abono; siembra de dos surcos de yuca alternados con 1 surco de pasto imperial	18.9	1.7
8. Sin preparación y sin abono; siembra con barretón a 80 x 80 cm	6.5	2.4

a. Promedio de dos variedades.

b. Durante 13 meses entre la siembra y la cosecha de yuca.

Fuente: García (1984), citado por Howeler, 1986.

Tabla 1-10. Efecto del manejo del suelo en el rendimiento de yuca y en la pérdida de suelo por erosión, en la región de Mondomito, Cauca, Colombia, en un lote con pendiente de 30% (1985-86).

Sistemas de manejo	Pérdida de suelo seco ^a (t/ha)	Rendimiento (t/ha) del cultivar ^b			
		1	2	3	X
Bueyes (un pase) sin abono	6.0	17.0	12.4	21.2	16.9
Bueyes (un pase) con abono	3.4	9.3	27.8	27.3	21.5
Franjas, alternadas con franjas sin preparar, con abono	1.2	7.1	4.8	17.2	9.7
Sin preparación, con abono	2.1	27.5	20.5	29.4	25.8
Bueyes, con abono, barrera de imperial	3.5	20.4	14.4	24.1	19.6
Franja de yuca, con abono, alternando con frijol	2.3	18.6	19.0	11.3	16.3

a. 13 meses después de la siembra.

b. 1 = Regional amarilla, 2 = Selección 40; 3 = CMC-92 (Algodona).

Fuente: Cadavid, 1987.

El diagnóstico físico-químico del suelo, es una herramienta fundamental para determinar el tipo de labranza vertical, cero y la mínima labranza; sistemas en los cuales las pérdidas de suelo por erosión son mínimas; pueden disminuir de 50 ó 100 t/ha de suelo seco a menos de 10 t/ha (Figura 1-7), el costo es menor y su implementación tiene una relación directa con la estructura del suelo y con el grado y la clase de cobertura vegetal (el contenido de materia orgánica es un factor importante); con el manejo anterior del suelo (por ejemplo, cantidad de abonos químicos y estiércol aplicado en siembras anteriores); con el grado de erosión, grupo o clase de suelo y su fertilidad natural y potencial; con el tipo y grado de malezas y con la variedad que se sembrará (Cadavid, 1987-1990; Howeler, 1984).

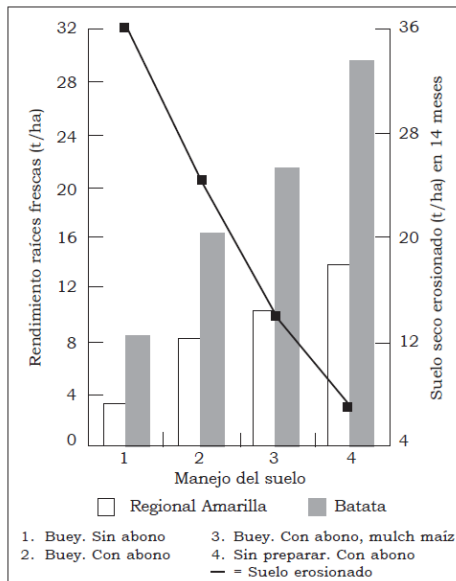


Figura 1-9. Efecto de la labranza del suelo y del abonamiento sobre el rendimiento de tres cultivares de yuca y sobre la pérdida del suelo, en un Inceptisol en Agua Blanca, Mondomo, Cauca, Colombia (45% de pendiente), en 1982-83. Fuente: Adaptada de Cadavid (1990).



Figura 1-10. Erosión hídrica causada por exceso de preparación de suelos. Pérdidas de suelo físicas y químicas.

Efecto de las barreras vivas

Las barreras vivas son franjas o hileras de plantas permanentes, de crecimiento denso y que se siembran a través de la pendiente. El objetivo de éstas es disminuir la velocidad del agua de escorrentía, evitando el arrastre del suelo y la consecuente pérdida de nutrientes.

Con este método se pretende reducir el área preparada a 50%. Un ejemplo es el caso de franjas de yuca sembradas en doble surco y de franjas de pasto nativo sin preparar. Se puede preparar también toda el área y se intercalan gramíneas o leguminosas en franjas de 1 ó 2 m, alternando con franjas de yuca sembradas en doble surco según las curvas de nivel y a través de la pendiente.

Las Figuras 1-11, 1-12, 1-13 y 1-14 reseñan los resultados de investigaciones sobre el efecto de barreras vivas en la producción del cultivo de la yuca y sobre la pérdida de suelo por erosión en la región de Mondomo, Cauca, Colombia (suelos clasificados como Inceptisoles).

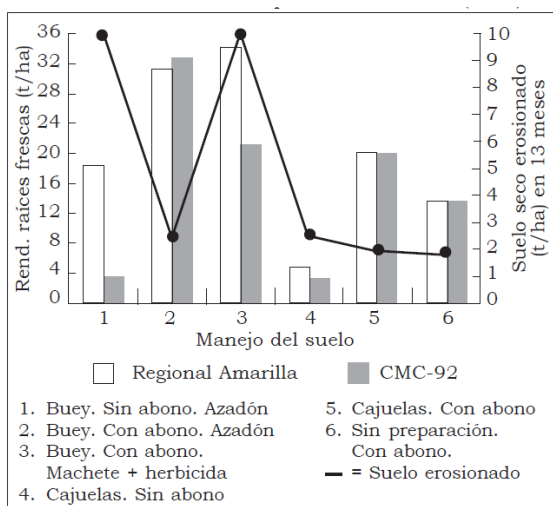


Figura 1-11. Efecto del método de preparación con deshierba y fertilización sobre el rendimiento de dos cultivares de yuca y sobre la pérdida de suelo por erosión, en Tres Quebradas, Mondomo, Cauca, Colombia (40% de pendiente), en 1985-86. Fuente: Cadavid (1990).

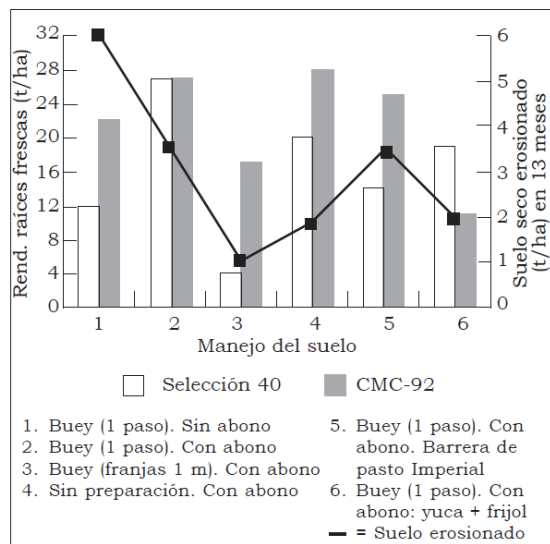


Figura 1-12. Efectos de diferentes prácticas agronómicas sobre el rendimiento de tres cultivares de yuca y sobre el suelo seco perdido en un lote con 30% de pendiente, en Mondomito, Mondomo, Cauca, Colombia, en 1985-86. Fuente: Cadavid (1987), citado por Cadavid (1990).

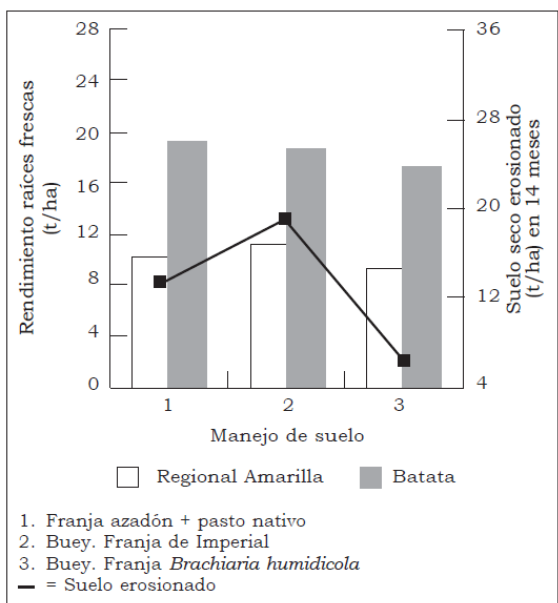


Figura 1-13. Efecto de barreras vivas en el rendimiento de tres cultivares de yuca y en la pérdida de suelo en un Inceptisol de Agua Blanca, Mondomo, Cauca, Colombia (45% de pendiente), en 1982-83. Fuente: Adaptada de Cadavid (1990).

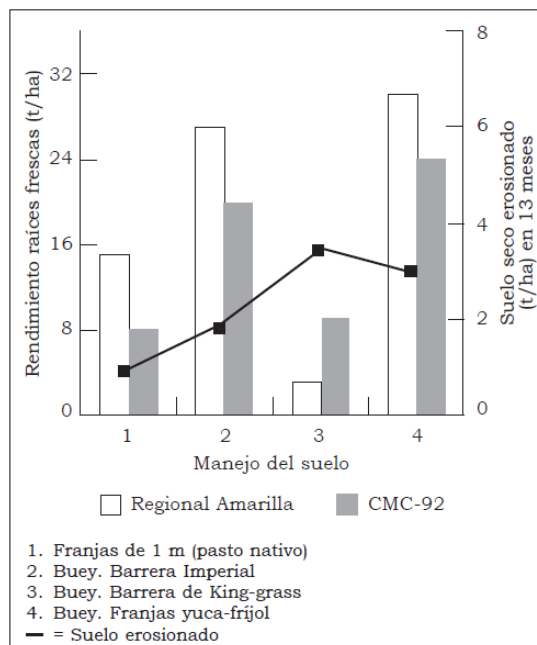


Figura 1-14. Efecto de las barreras vivas y de los cultivos asociados en el rendimiento de dos cultivares de yuca y en la pérdida de suelo por erosión en la región de Tres Quebradas, Mondomo (Cauca, Colombia), 40% pendiente en 1985-86. Fuente: Cadavid (1990).



Como se puede observar, esta alternativa de manejo es adecuada y no perjudica el rendimiento del cultivo. Lo más importante es el manejo de la franja o hilera acompañante.

Imperial (*Axonopus scoparius*) y braquiaria (*B. decumbens* y *B. humidicola*) son pastos que, aunque compiten por luz, sus resultados como barrera son aceptables —y el rendimiento de la yuca intercalada es aceptable— comparados con King Grass (*Saccarum sinense*), que causó un descenso drástico en la producción.

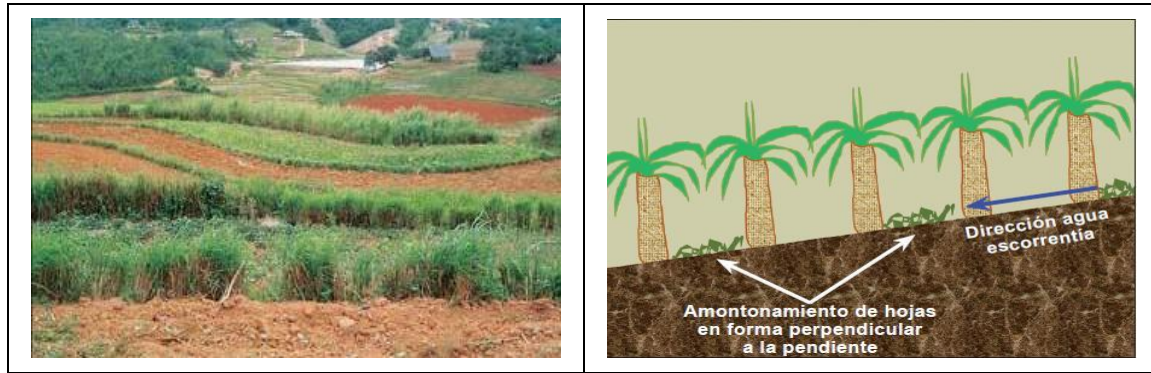


Figura 1-15. Franjas de yuca que alternan con franjas de pasto nativo.

Las franjas de yuca que alternan con franjas de pasto nativo (*Pennisetum* sp., *Pennisetum purpureum*, *Paspalum notatum*) son una alternativa intermedia, pero hay que controlar su agresividad y competitividad. Otras plantas aconsejables para formar barreras vivas son: vetiver (*Vetiveria zizanioides* Nash), limoncillo (*Cymbopogon citratus*) y citronella (*C. winterianus*), según Ruppenthal, 1995 (Tabla 1-11).

Tabla 1-11. Rendimiento en raíces frescas de algunos sistemas de cultivo de la yuca en Santander de Quilichao y en Mondomo durante los primeros 4 a 5 años del experimento¹.

Sistema de cultivo	Rendimiento (t/ha) en:						
	Quilichao ² en periodo:				Mondomo ² en periodo:		
	1987-89 ³	1989-90 ⁴	1990-91	1991-92	1988-89 ⁵	1990-91	1991-92
Monocultivo							
En curvas de nivel	30.7 a	28.4	35.6 a	23.3 a	15.3 a	15.4 abc	13.4 a
En surcos con la pendiente	28.3 a	—	—	—	15.4 a	—	—
En terreno plano	31.9 a	28.5	35.7 a	22.7 ab	19.7 a	18.4 a	13.5 a
Labranza mínima	7.7 c	—	—	—	15.7 a	—	—
Con residuos (mulch)	—	30.9	—	—	—	—	—
Con barreras de pasto							
Yuca + <i>V. zizanioides</i>	—	—	28.6 a ⁶	23.5 a	—	12.4 bc	12.2 a
Yuca + <i>P. purpureum</i>	30.2 a ⁷	24.4	23.6 a	16.2 ab	18.2 a	12.8 abc	11.0 a

1. Entre los valores que llevan letras iguales, en una misma columna, no hay diferencia significativa.
 2. En los periodos de cultivo de 1990-91 y 1991-92, la yuca se cosechó a los 11 meses de edad en Quilichao y a 8 y 9 meses en Mondomo.
 3. Media de dos periodos de cultivo. Se plantó la variedad de yuca CM 523-07 (Reining, 1992).
 4. Información recibida de LF Cadavid, investigador del CIAT, desde Santander de Quilichao, Colombia. Se plantó la variedad de yuca CM 507-37.
 5. De la variedad de yuca MCOL 1522 (Algodona). Datos de Reining, 1992.
 6. Yuca de 10 meses de edad.
 7. Sólo en los 2 primeros años; se sembró *Paspalum notatum* como barrera de pasto siguiendo las curvas del nivel.

Fuente: Ruppenthal, 1995.



Igualmente se pueden sembrar especies arbóreas aprovechables económicamente como maderable, Nemm como repelentes de plagas, frutales como cítricos, cacao, plátano y otros. Algunas experiencias en Colombia en el Departamento de Santander han arrojado resultados positivos en este sentido.

Tabla 1-12. Pérdida de suelos (t/ha semestre), en cultivo en rotación sembrados en franja desde 1992^B a 2003^a (Aldana y Gómez 2004).

Año	Franja 1	Franja 2	Franja 3	Franja 4	Franja 5	Franja 6	Lluvia mm
1992-B	Maíz 3.7	Fríjol 3.6	Yuca 2.2	Cítrico 1.0	Cacao 3.0	Bosque 0.2	517
2003-A	Maíz 0.033	Fríjol 0.025	Yuca 0	0	0	0	514

Estos trabajos permitieron concluir que la siembra de cultivos transitorios en suelos de ladera, mediante franjas separadas con barreras vivas, con operaciones de labranza reducida y sistemas de rotación, disminuyeron las pérdidas de suelo desde el 89% hasta 95%. Con la siembra de cultivos permanentes, de cacao y cítricos, en franjas separadas con barreras vivas, sombrío transitorio o cobertura vegetal baja de pasto, controló la erosión desde el 95.62% hasta el 100% a partir del segundo año de siembra. Mediante la siembra en franjas, en curvas de nivel, con cultivos transitorios en rotación, y permanentes, se logró mantener el estado de fertilidad de los suelos o incrementar los niveles de P, B y Zn, otro nutrientes disminuyeron en cantidades estimadas como trazas.

Efecto de la fertilización

Sin lugar a dudas, ésta es una de las prácticas agronómicas de manejo que más impacto tiene sobre la fertilidad y productividad de un suelo y sobre los rendimientos del cultivo de la yuca.

Howeler (1986-2001) y Cadavid (1987-1997) indican que la fertilización de este cultivo no sólo aumenta el rendimiento, sino que produce plantas más vigorosas y con mayor área foliar. Con ello se protege el suelo contra el impacto de las gotas de lluvia y se disminuye el riesgo de erosión (Tabla 1-13 y Figura 1-16).

Tabla 1-13. Respuesta de yuca a la aplicación de varios niveles de N, P, K en cinco localidades de la región de Mondomo, Pescador, Cauca, Colombia, 1983.

Fertilización	Mondomito	Agua blanca	Telecom	Tres quebradas	Pescador	Promedio
Rendimiento de raíces frescas (t/ha)						
N ₀ P ₀ K ₀	8.5	12.7	13.0	10.2	3.3	9.5
N ₀ P ₂ K ₂	11.0	25.5	25.9	16.5	12.6	18.3
N ₁ P ₂ K ₂	13.6	20.5	21.8	18.4	13.1	17.5
N ₂ P ₂ K ₂	11.0	24.8	27.1	23.2	16.2	20.5
N ₃ P ₂ K ₂	13.8	29.7	27.3	29.2	19.7	23.9
N ₂ P ₀ K ₂	8.0	13.2	16.0	9.3	6.0	10.5
N ₂ P ₁ K ₂	14.3	25.2	23.5	21.5	15.0	19.9
N ₂ P ₃ K ₂	12.0	24.6	26.4	24.7	19.6	21.5
N ₂ P ₂ K ₀	10.6	25.5	23.1	14.8	7.4	16.3
N ₂ P ₂ K ₁	14.3	24.9	25.9	17.8	16.5	19.8
N ₂ P ₂ K ₃	14.4	26.3	24.6	24.8	16.7	21.4
N ₃ P ₃ K ₃	18.5	28.0	27.3	29.9	12.3	23.2

N₀ = 0 N₁ = 50 N₂ = 100 N₃ = 200 kg N/ha como urea

P₀ = 0 N₁ = 50 P₂ = 100 P₃ = 200 kg P/ha como SFT (superfosfato triple)

K₀ = 0 K₁ = 50 K₂ = 100 K₃ = 200 kg K/ha como KCl (cloruro de potasio)

Fuente: Cadavid y Howeler, 1984

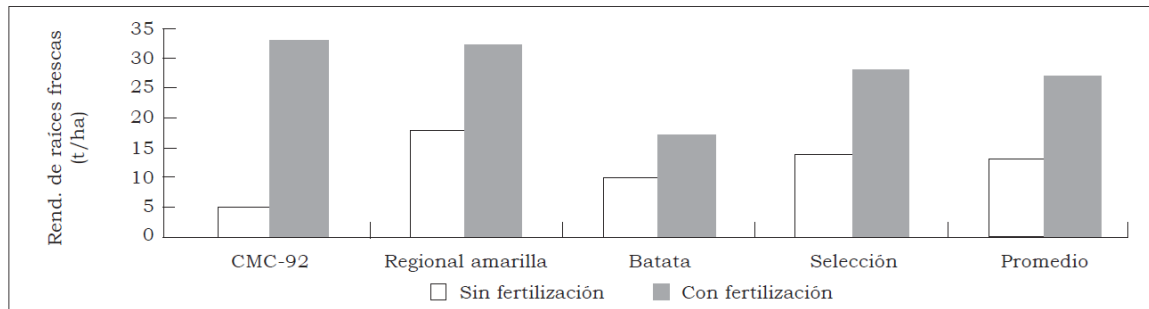


Figura 1-16. Efecto de la fertilización química sobre el rendimiento de cuatro cultivares de yuca en suelos preparados con buey (una pasada) en Mondomo, Cauca, Colombia.



Figura 1-17. Fertilización de yuca industrial y barreras vivas de maderables en Sucre.

Efecto de coberturas muertas o 'mulch'

Howeler (1984; 1986) y Cadavid (1987; 1990; 1997) reportan que la protección del suelo contra el impacto de la lluvia también se consigue con la aplicación de 'mulch' o cobertura vegetal muerta, como rastrojo de maíz, pasto, frijol, paja de arroz, hojas de plátano, etc.

El mulch, a través del tiempo, suministra nutrientes, aumenta la humedad del suelo, disminuye la temperatura del mismo, aumenta la actividad de la macrofauna (lombrices) y mejora la tasa de infiltración del agua. Este efecto benéfico sobre el suelo y el cultivo se observa en las Tablas 1-9 y 1-14 y en la Figura 1-9.

Según Cadavid (1990; 1997), es un sistema mixto que permite excelentes rendimientos de la yuca y disminuye los riesgos de erosión de 60% a 70%, pero puede tener dos serios inconvenientes: (1) si no se maneja bien el 'mulch', los rendimientos son bajos, y (2) es un método que puede ser costoso por el transporte del 'mulch', a no ser que se disponga de él en la finca (ejemplo, residuos de maíz o de frijol o las mismas malezas como brachiaria o guinea).



Tabla 1-14. Efecto de “mulch” de varios pastos y leguminosas sobre el rendimiento del maíz, soya, caupí y yuca en un Alfisol en Nigeria.

Mulch	Rendimiento (t/ha)			
	Maíz	Soya	Caupí	Yuca
Testigo sin “mulch”	2.1	0.51	0.43	8.0
<i>Panicum maximum</i>	1.7	0.50	0.62	3.5
<i>Brachiaria ruziziensis</i>	3.8	1.14	1.04	17.4
<i>Melinis minutiflora</i>	3.4	0.77	0.87	18.8
<i>Centrosema pubescens</i>	3.7	0.75	0.76	15.0
<i>Pueraria phaseoloides</i>	3.4	0.80	0.79	19.5
<i>Stylosanthes guianensis</i>	3.1	0.91	0.67	19.8

Fuente: Lal et al. (1981), citados por Howeler, 1986.

Manejo de suelos planos

▪ Preparación del suelo y coberturas muertas

Hulugalle et al., 1987 (citados en Cadavid et al., 1993) reseñan que la literatura sobre el sistema óptimo de labranza en el cultivo de la yuca es escasa, ya que se han realizado pocos estudios al respecto.

Según Cadavid et al. (1993), un alto porcentaje de suelos del trópico presentan baja fertilidad, caracterizada por suelos muy ácidos con bajos contenidos de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio; además, existen condiciones físicas indeseables, caracterizadas por un pobre drenaje, baja capacidad de retención de agua, alta temperatura del suelo y tasa de infiltración rápida. A estos factores adversos se agrega la pérdida de nutrientes por escorrentía y lixiviación por erosión hídrica y eólica, y por alta compactación causadas por un mal manejo del suelo, como ya se comentó anteriormente.

Se han realizado pocas investigaciones sobre el sistema óptimo de labranza en yuca. Sin embargo, algunas experiencias en diferentes clases de suelo en África y otras regiones tropicales han sido reportadas en los últimos 13 años y pueden servir como ejemplo en los diferentes suelos donde se siembra yuca en Colombia.

En un estudio realizado en un suelo arcilloso (Typic paleodult) y muy meteorizado, en el sudeste de Nigeria, el cultivo de la yuca fue afectado por la labranza y el tiempo, según Gnahoua y Kabrah (1988). En el primer año de siembra, la labranza convencional (subsolarrastrillar- arar) incrementó el rendimiento en 10 t/ha al compararlo con cero labranza (28.6 y 18.6 t/ha, respectivamente).

Es importante resaltar que, en el mismo estudio, los autores reseñan que después de 4 años consecutivos, el efecto positivo de la labranza convencional desapareció y, como resultado, disminuyó el rendimiento (28.6 a 16.8 t/ha), mientras que sin labranza el rendimiento se mantuvo constante (alrededor de 18 t/ha).

En un Ultisol ácido e infértil (Typic paleodult) de Nigeria, Hulugalle et al. (1990), citados en Cadavid et al. (1995), estudiaron el efecto de la labranza, la cobertura sobre las propiedades del suelo y el rendimiento de la yuca durante 5 años consecutivos. Encontraron que los niveles de K, Ca y Mg intercambiable fueron superiores con la cobertura; el rendimiento se incrementó con la aplicación de mulch, pero no con la labranza.

Hulugalle et al. (1985) y Wade y Sánchez, (1982), citados en Cadavid et al. (1993) reseñan que, en Ultisoles del trópico y sin fertilización química, los rendimientos de los cultivos pueden aumentar cuando se combina la labranza y la aplicación de mulch al incrementarse la absorción de nutrientes, especialmente de potasio;



también minimizan el encostramiento del suelo, reducen la temperatura del mismo y mejoran la infiltración del agua, dando mayor protección al suelo.

Según la FAO, en un suelo arenoso, clasificado como Cambic arenosol y sembrado por 8 años consecutivos con yuca en Media Luna, Magdalena, Colombia, el empleo de 'mulch' y el método de preparación tuvieron un efecto benéfico, altamente significativo sobre la fertilidad y productividad del suelo y sobre el rendimiento del cultivo de la yuca (Cadavid et al., 1993-95; 1998). Las Tablas 1-15, 1-16, 1-17 y la Figura 1-18 reseñan estos resultados.

Tabla 1-15. Efecto de labranza, mulch y abonamiento químico en las características químicas de un suelo arenoso en Pivijay, Magdalena, Colombia, durante un período de 6 años.

Manejo	Con 330 kg/ha de 15-15-15						Sin fertilización química						Tiempo
	M.O. (%)	pH (1:1)	P (ppm) Bray II	Ca (meq/100 g suelo)	Mg (meq/100 g suelo)	K (meq/100 g suelo)	M.O. (%)	pH (1:1)	P (ppm) Bray II	Ca (meq/100 g suelo)	Mg (meq/100 g suelo)	K (meq/100 g suelo)	
Suelo antes de manejo ^a	—	—	—	—	—	—	0.18	6.10	8.38	0.87	0.28	0.05	1988-89
Manejo convencional	1.20	5.40	18.88	0.34	0.08	0.05	1.10	5.35	8.25	0.34	0.07	0.04	1993-94
Manejo convencional + mulch	1.33	6.25	23.43	0.79	0.38	0.13	1.45	6.50	13.65	0.86	0.49	0.17	
Manejo cero labranza	1.05	5.53	17.30	0.36	0.08	0.05	1.08	5.30	9.43	0.36	0.07	0.04	
Manejo cero labranza + mulch	1.48	6.28	27.03	0.77	0.45	0.16	1.45	6.43	14.50	0.80	0.46	0.16	

Tabla 1-16. Respuesta, en promedio, de la biomasa aérea, del rendimiento y del contenido de M.S. de la yuca (en 8 años de pruebas) y del HCN total de las raíces (en 5 años de pruebas) a las siguientes prácticas del cultivo: 'mulch' de residuo vegetal en la superficie, fertilización y labranza, en suelos arenosos del norte de Colombia. Ensayo en las fincas iniciado en 1988-89 en Media Luna, Magdalena, Colombia.

Tratamiento principal	Con fertilización ^a				Sin fertilización			
	Rend. raíces ^b (P.S., t/ha)	Biomasa aérea (P.S., t/ha)	Raíces raíces ^b (M.S.,%)	HCN en raíz aérea (P.S., mg/kg)	Rend. raíces ^b (P.S., t/ha)	Biomasa aérea (P.S., t/ha)	Raíces raíces ^b (M.S.,%)	HCN en raíz aérea (P.S., mg/kg)
Labranza convencional	5.51	3.18	30.2	158	2.19	1.43	30.1	227
Labr. convencional + mulch	5.92	3.98	30.9	146	4.66	2.93	30.6	149
Ninguna labranza	4.42	2.77	29.5	150	1.93	1.43	29.2	224
Ninguna labranza + mulch	6.11	3.85	31.0	140	4.66	2.95	30.4	158
Promedio	5.49	3.45	30.4	148	3.36	2.19	30.1	189
LSD 5% Duncan ^d	0.26	0.31	NS ^e	12				
LSD 5% Duncan ^e	0.77	0.68	0.88	18	0.35	0.49	0.77	0.32

a. Se aplicaron dosis iguales (por tratamiento) de N, P y K (50, 21 y 41 kg/ha, respectivamente), a los 30 y los 60 días después de plantar la yuca.

b. P.S. = peso seco; M.S. = materia seca.

c. NS = no es significativo el dato al nivel de probabilidad del 5%.

d. Comparación entre tratamientos de fertilización.

e. Comparación entre medios de tratamientos de fertilización.

Fuente: Cadavid et al., 1998.

De acuerdo con lo anterior, para determinar el tipo de labranza y preparación de suelos a utilizar (vertical o convencional) es necesario tener en cuenta las características físico-químicas y biológicas del terreno, retención de humedad, predisposición a la erodabilidad, el régimen hídrico y el historial de manejo anterior.

Tabla 1-17. Respuesta, en promedio, del contenido de nutrientes del suelo (en 4 años: 1993 a 1996) a las siguientes prácticas del cultivo: 'mulch' de residuo vegetal en la superficie, fertilización y labranza, en suelos arenosos del norte de Colombia. Ensayo en las fincas iniciado en 1988-89, en Media Luna, Magdalena, Colombia.

Tratamiento principal	Con fertilización ^a						Sin fertilización					
	C (mol/kg de S.S.) ^b	P	K	Ca	Mg	pH suelo	C (mol/kg de S.S.) ^b	P	K	Ca	Mg	pH suelo
Labranza convencional	0.54	0.56	0.49	1.85	0.46	4.99	0.50	0.22	0.37	1.78	0.43	4.91
Labranza convencional + mulch	0.62	0.68	1.14	3.64	1.70	5.76	0.69	0.37	1.36	3.85	2.04	5.93
Ninguna labranza	0.52	0.50	0.41	1.79	0.42	5.01	0.56	0.26	0.38	1.71	0.37	4.87
Ninguna labranza + mulch	0.67	0.65	1.25	3.62	1.85	5.73	0.66	0.40	1.41	3.57	1.97	5.89
Promedio	0.59	0.60	0.83	2.73	1.11	5.37	0.60	0.31	0.88	2.73	1.20	5.40
LSD 5% Tukey ^d	NS ^c	0.04	NS	NS	NS	NS						
LSD 5% Tukey ^e	0.14	NS	0.14	0.89	0.25	0.31	0.06	0.08	0.30	1.01	0.39	0.36

- a. Se aplicaron dosis iguales (por tratamiento) de N, P y K (50, 21 y 41 kg/ha, respectivamente), a los 30 y a los 60 días después de sembrar yuca.
 - b. S.S. = suelo seco.
 - c. NS = no es significativo al nivel de probabilidad del 5%.
 - d. Comparación entre tratamientos de fertilización.
 - e. Comparación entre medios de tratamientos de fertilización.
- Fuente: Cadavid et al., 1998.

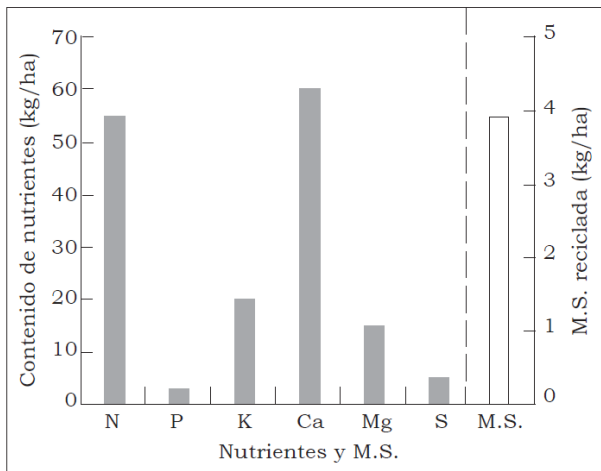


Figura 1-18. Reciclaje de nutrientes (hojas y pecíolos caídos) a los 10 meses después de la siembra en plantas de yuca fertilizadas (cv. CM 523-7) en un suelo de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia. Fuente: Cadavid (1988).



Figura 1-19. Evaluación físico-química del suelo para determinar labranza a utilizar. Suelo en Granada-Magdalena.



▪ **Efecto de abonos verdes**

Los abonos verdes son cultivos, generalmente de leguminosas, que se siembran y antes de su floración son incorporados al suelo, con el fin de mejorarlo química y físicamente.

Algunas leguminosas constituyen el mejor abono verde ya que, al ser incorporadas, incrementan la cantidad de materia orgánica y de nitrógeno asimilable en el suelo.

Según Cadavid (1995) y Howeler et al. (2000a), se establecieron varios ensayos en Santander de Quilichao (Cauca) y en Media Luna (Magdalena), Colombia, durante varios años, con resultados altamente significativos, según lo indican las Tablas 1-20 a 1-25 y la Figura 1-20, donde se comprueban los efectos benéficos de los abonos verdes en el cultivo de la yuca.

El empleo de materiales verdes incorporados al suelo es una excelente alternativa para mejorar las condiciones químico-físicas de los suelos dedicados a la siembra de yuca; materiales como Zornia, Kudzú, Centrosema, Desmodium, Guandul, Maní, Indigofera (ver Tabla 1-20), *Sesbania rostrata* y *Crotalaria juncea*, se deben seleccionar para este propósito, aunque con un incremento de peso seco en cada uno de ellos.

También se debe buscar la posibilidad de establecer bancos de abono verde sembrando áreas pequeñas para este propósito, con materiales que resistan varios cortes para tal fin.

En un suelo de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia, se estableció un ensayo para probar el efecto de varios cortes en varias leguminosas y en una gramínea forrajera, y observar su persistencia a través del tiempo, con el fin de evaluar su calidad como abono verde en el cultivo de la yuca (Tabla 1-25).

Las conclusiones del ensayo pueden resumirse así:

1. La mayor parte de estos materiales se adaptan a condiciones de acidez del suelo y fueron probados en varios ensayos (ya reseñados) como abonos verdes.
2. El maní y el caupí no permiten varios cortes (uno solo), aunque el maní, por su alto contenido de nutrientes, se recomienda como abono verde.
3. La mayoría de estos materiales tienen una concentración de nutrientes de media a alta y su aporte en peso seco al suelo es bueno al igual que su persistencia, ya que resisten varios cortes; se destacan especialmente Indigofera, Kudzú, Zornia, Braquiaria, y los géneros *Stylosanthes*, *Codariocalyx*, *Desmodium* y *Stylobium*.

Con este estudio y dados los beneficios reportados en el cultivo de la yuca, se concluye que es recomendable esta práctica de manejo y que es necesario validar esta tecnología para hacer un mejor uso del recurso suelo (Cadavid, 1995; Howeler et al., 2000).



Tabla 1-20. Contenido de nutrientes de ocho leguminosas incorporadas en un suelo agotado de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia (Corregido y adaptado de Cadavid, 1987).

Leguminosas	Concentración (%)			Cantidad (kg/ha) aportada al suelo de: ^d					
	N	P	K	P.S. (t/ha)	NT	NF	NA	P	K
<i>Stylobium</i> spp. ^a	2.16	0.24	1.10	2.0	43.2	28.0	15.2	4.8	22.0
<i>Zornia latifolia</i> 728	1.65	0.22	0.78	0.6	9.9	8.4	1.5	1.3	4.7
<i>Centrosema pubescens</i> 438	3.50	0.21	1.25	0.9	31.5	12.6	18.9	1.9	11.3
<i>Cajanus cajan</i> ^b	1.48	0.20	0.55	2.0	29.5	28.0	1.6	4.0	11.0
Maní ICA tatui	1.74	0.15	0.87	1.8	31.3	25.2	6.1	2.7	15.7
Caupí TVX 1193-059 D	1.29	0.18	0.98	0.5	6.5	7.0	-0.5	0.9	4.9
<i>Indigofera hirsuta</i> 700	1.93	0.20	0.70	1.9	36.7	26.6	10.1	3.8	13.3
<i>Pueraria phaseoloides</i> ^c	2.27	0.37	1.60	1.0	22.7	14.0	8.7	3.7	16.0

a. Terciopelo negro.

b. Guandul.

c. Kudzú.

d. P.S. = peso seco; NT = nitrógeno total; NF = nitrógeno fijado en el Humus (Torres, 1981); NA = nitrógeno aprovechable (NT-NF, según Torres, 1981).

Fuente: Cadavid, 1995.

Tabla 1-21. Efecto del abono verde sobre el rendimiento (raíces frescas, t/ha) de dos cultivares de yuca en un suelo agotado de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia, durante 2 años consecutivos (1983-84 y 1984-85).

Tratamiento	Peso raíces (t/ha)			
	MCOL 1684		CM 91-3	
	1er ciclo	2o. ciclo	1er ciclo	2o. ciclo
Sin abono verde	16.9	13.6	16.5	10.3
Terciopelo	19.9	19.0	18.4	17.0
Zornia	24.1	22.3	23.7	14.2
Centrosema	25.2	15.2	20.5	12.2
Guandul	28.6	18.8	25.4	12.0
Maní	29.4	24.6	29.6	15.6
Caupí	19.0	19.5	15.0	11.4
Indigofera	25.7	12.7	27.6	9.5
Kudzú	26.9	13.8	30.5	11.5

Fuente: Cadavid, 1995.



Tabla 1-22. Peso seco (P.S.) y contenido de nutrientes (kg/ha) de abonos verdes incorporados en un suelo agotado de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia^a.

Abono verde incorporado	P.S. (t/ha)	Cantidad (kg/ha) del nutriente aportada al suelo							
		NT	NF	NA	P	K	Ca	Mg	S
<i>Zornia latifolia</i>	2.83	63.4	39.5	23.9	4.2	23.2	16.4	8.8	5.7
<i>Pueraria phaseoloides</i>	2.68	84.4	37.5	46.9	5.6	36.7	18.5	8.3	5.6
<i>Arachis pintoii</i>	1.30	30.4	18.2	12.2	2.2	11.3	21.8	8.5	3.1
<i>Macroptilium glabre</i>	1.28	40.8	17.9	22.9	2.8	16.1	10.1	4.7	2.7
<i>Centrosema acutifolium</i>	2.70	75.6	37.8	37.8	4.6	28.1	19.7	6.8	6.2
<i>Desmodium ovalifolium</i>	3.00	50.4	42.0	8.4	4.2	22.5	18.9	8.4	5.4
<i>Paspalum sp.</i>	3.50 ^b	39.2	49.0	-9.8	4.9	21.7	16.1	3.9	3.2

a. Abonos verdes sembrados en el mismo lote agotado y con permanencia en el suelo por 2 años consecutivos; después se incorporaron y a los 6 meses se sembró la yuca (CM 507-37). NT = nitrógeno total; N = nitrógeno fijado en el Humus (Torres, 1981); NA = nitrógeno aprovechable por la planta.

b. Varios cortes en el sitio.

Fuente: Cadavid, 1995.

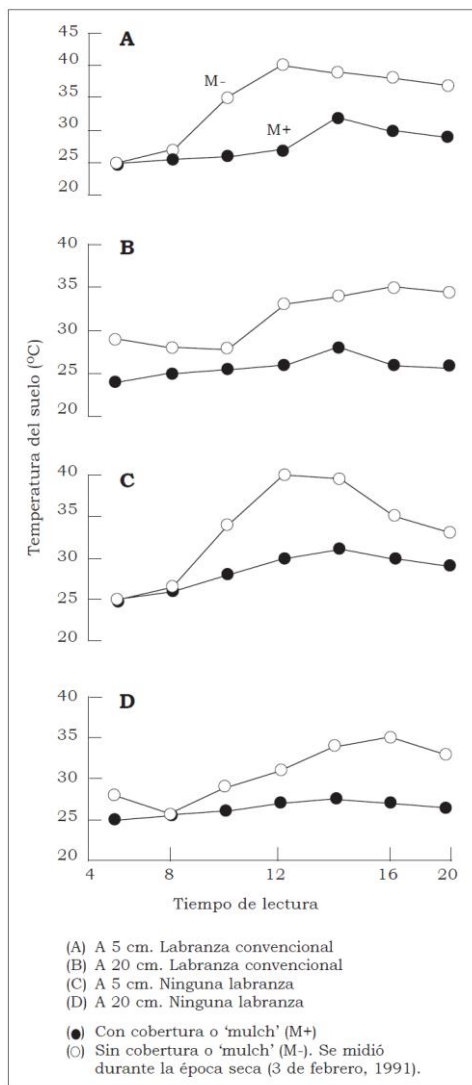


Figura 1-20. Temperatura del suelo en un cultivo de yuca (MCO 1505) en que el suelo arenoso se cubrió con un 'mulch' superficial, en la costa norte de Colombia. Fuente: Cadavid et al., 1998.



Tabla 1-23. Producción de M.S. de diversos abonos verdes (AV) y efecto que causa su incorporación en el suelo y en el rendimiento de la yuca (cv. MCOL 1684) cultivada con aplicaciones de fertilizantes químicos¹ o sin ellas, en la estación CIAT-Quilichao, en los años agrícolas 1983-84 y 1984-85.

Tratamiento de abono verde	M.S. del AV (t/ha)	Fertilidad del suelo en 1983 ²				Fertilidad el suelo en 1984 ³		Rendimiento (t/ha) de raíces frescas ⁴			
		pH	M.O. (%)	P (ppm)	K (meq/100 g)	P (ppm)	K (meq/100 g)	1983-84		1984-85	
								Sin fert.	Con fert.	Sin fert.	Con fert.
1. Sin AV	—	4.1	5.5	3.8	0.10	3.6	0.08	16.9 c ⁶	31.9 abcd	13.6 b	31.4 bcd
2. Caupí	0.45 ⁵	4.0	5.5	5.2	0.12	5.5	0.08	18.9 bc	26.5 cd	19.5 ab	32.2 abcd
3. Maní	1.75 ⁵	4.1	5.9	5.1	0.14	6.2	0.09	29.3 a	39.0 a	24.6 a	30.0 cd
4. Guandul	1.95	4.1	6.0	4.6	0.13	6.6	0.07	28.6	33.8 abc	18.8 ab	38.9 a
5. Frijol terciopelo	1.95	4.1	5.6	5.5	0.12	5.8	0.08	19.9 bc	23.6 d	18.9 ab	31.9 abcd
6. <i>Zornia latifolia</i>	0.55	4.1	5.6	5.2	0.12	5.1	0.07	24.1 abc	41.1 a	22.3 ab	28.6 d
7. <i>Centrosema pubescens</i>	0.90	4.1	5.9	4.6	0.11	5.9	0.08	25.1 abc	36.7 ab	15.2 ab	40.0 a
8. <i>Indigofera hirsuta</i>	1.90	4.1	5.8	5.5	0.13	6.7	0.08	25.7 ab	29.7 bcd	12.6 b	34.8 abcd
9. <i>Pueraria phaseoloides</i>	1.00	4.1	5.6	7.7	0.15	5.4	0.08	26.9 ab	40.4 a	13.7 b	37.3 abc
Promedio								23.9 b	33.6 a	17.7 b	33.9 a
Prueba de F:								Efecto del fert. **	Efecto del fert. *	Efecto del fert. *	Efecto del fert. *
								Efecto del AV **	Efecto del AV **	Efecto del AV NS	Efecto del AV NS
								Fert. × AV NS	Fert. × AV NS	Fert. × AV **	Fert. × AV **

1. Aplicación: 500 kg/ha del fertilizante 10-30-10 (N-P₂O₅-K₂O) en los dos cultivos de yuca. M.S. = materia seca. M.O. = materia orgánica.

2. Antes de plantar el primer cultivo de yuca en 1983. Promedio de tratamientos con fertilización y sin ella.

3. Antes de plantar un segundo cultivo de yuca en 1984. Promedio de tratamientos con fertilización y sin ella.

4. No hay diferencia significativa entre los datos seguidos por una misma letra, según la Prueba de Rango Múltiple de Duncan al 5%; fert. = fertilización.

5. Efecto residual de los abonos verdes sembrados en 1983 en el rendimiento de la yuca obtenida en 1984-85.

6. Rendimiento adicional: 520 kg/ha de maní y 420 kg/ha de guandul (medido como grano seco sin vainas).

Fuente: Howeler et al., 2000.



Tabla 1-24. Producción de M.S. de algunos abonos verdes nativos y su efecto de cobertura del suelo ('mulching'), EM, en la fertilidad del suelo y en el rendimiento de la yuca (cv. MVEN 25), cultivada con aplicación de fertilizantes^a y sin ella en un suelo arenoso de Media Luna, en la costa norte de Colombia, en 1984-85.

Tratamiento de abono verde	M.S. del abono verde (t/ha)	EM al momento de plantar la yuca, en:						EM 2 meses después de plantar la yuca, en:						Rendimiento (t/ha) de raíces frescas	
		pH	M.O. (%)	P (ppm)	Cationes (meq/100 g S)			Macronutrientes (ppm)		Cationes (meq/100 g S)				Sin fert.	Con fert.
					Ca	Mg	K	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P	Ca	Mg	K		
1. Sin abono verde	—	5.2	0.70	6.4	0.43	0.11	0.04	3.5	1.5	5.7	0.40	0.10	0.03	19.5	34.3
2. Malezas nativas	4.73	5.5	0.82	4.6	0.54	0.18	0.06	4.9	2.4	4.7	0.64	0.22	0.05	34.4	30.7
3. Caupí	2.93	5.3	0.77	5.9	0.52	0.16	0.07	3.1	1.7	5.6	0.48	0.15	0.04	27.6	32.5
4. Maní	6.56	5.3	0.97	6.1	0.45	0.13	0.07	3.3	2.1	5.7	0.50	0.17	0.05	32.0	24.8
5. Guandul	3.93	5.1	1.15	8.4	0.54	0.17	0.07	3.3	1.9	6.8	0.47	0.15	0.04	30.2	29.7
6. Frijol terciopelo	2.50	5.5	0.80	5.1	0.47	0.13	0.05	3.3	2.1	6.3	0.45	0.13	0.03	31.9	34.8
7. <i>Crotalaria juncea</i>	1.71	5.3	0.85	5.7	0.46	0.13	0.06	3.4	1.7	4.8	0.50	0.15	0.04	24.6	32.6
8. <i>Canavalia ensiformis</i>	3.29	5.0	0.85	8.0	0.56	0.17	0.09	4.6	2.6	7.3	0.71	0.20	0.06	34.0	32.9
9. <i>Indigofera hirsuta</i>	6.00	5.2	0.82	6.1	0.49	0.14	0.06	3.3	2.5	5.4	0.46	0.14	0.04	30.9	34.8
Promedio														29.4	32.3

a. Fertilización con 500 kg/ha de 15-15-15.

Fuente: Howeler et al., 2000.



Tabla 1-25. El uso de abonos verdes para yuca en suelos de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia.

Abono verde	Análisis foliar (%)			P.S. (t/ha) en corte: ^a				P.S. acumulado (t/ha)
	N	P	K	1	2	3	4	
<i>Stylobium</i> spp.	2.16	0.24	1.10	4.9	3.1	1.3	SS	9.3
<i>Cajanus cajan</i>	1.48	0.20	0.55	2.9	1.2	0.6	—	4.7
<i>Indigofera hirsuta</i>	1.93	0.20	0.70	6.0	4.2	2.4	0.6	13.2
<i>Pueraria phaseoloides</i>	2.27	0.37	1.60	4.0	2.8	1.8	2.1	10.7
<i>Zornia latifolia</i>	1.65	0.22	0.78	4.0	4.4	2.5	0.4	11.3
<i>Stylosanthes guianensis</i>	1.54	0.22	1.38	2.6	2.8	1.9	2.3	9.6
<i>Macroptilium glabre</i>	1.62	0.27	0.83	0.9	2.7	1.1	0.4	5.1
<i>Codariocalyx gyroides</i>	1.32	0.15	0.88	3.1	5.5	2.7	2.7	14.0
Mani ICA-Tatui	1.74	0.15	0.87	1.0	2.4	2.7	NS	6.1
<i>Desmodium ovalifolium</i>	1.32	0.17	0.60	3.7	6.4	3.6	5.9	19.6
Caupí cv. TVX 1193 059	1.29	0.18	0.98	0.3	2.3	2.6	SS	5.2
<i>Canavalia</i> sp.	2.60	0.25	1.71	6.8	1.1	1.2	—	9.1
<i>Brachiaria humidicola</i>	1.12	0.13	0.32	9.6	14.4	3.7	8.1	35.8

a. Cortes: 1 = 6 meses después de siembra (MDS); 2 = 11 MDS; 3 = 14 MDS; 4 = 19 MDS. En los cortes 1 y 2 la siembra se repitió tres veces. SS = no se sembró el abono verde. Fuente: Cadavid (1995).

Reciclaje de Nutrientes

La yuca extrae del suelo grandes cantidades de nitrógeno, potasio y calcio, lo que indica que dentro de la planta se reciclan grandes cantidades de estos nutrientes a través de todo su ciclo de crecimiento.

Según el CIAT, esto se traduce en que en un cultivo de ciclo de crecimiento largo como la yuca existe la posibilidad, no solamente de que los nutrientes sean reciclados dentro de la planta, sino que grandes cantidades de ellos vuelvan al suelo y luego sean tomados nuevamente por el cultivo; esto último se obtiene, en parte, por las hojas y los pecíolos caídos durante el ciclo de crecimiento.



Figura 1-21. Cultivos de yuca fertilizados. A la izquierda y centro, cultivos de ocho meses de edad y buen suministro de agua en Corozal-Sucre; a la derecha un cultivo de doce meses de edad con déficit de agua en Planeta Rica - Córdoba.



La yuca, en promedio, comienza a perder sus hojas a partir del tercer mes después de la siembra y lo hace progresivamente hasta que termina su ciclo de desarrollo, en el cual la planta pierde más de 80% de su área foliar. Sin embargo, es importante tener en cuenta el efecto del déficit de agua en el ciclo vegetativo del cultivo, ya que fisiológicamente la planta, como respuesta, cesa su crecimiento y emisión de hojas para no perder su área foliar y con ello aumentar la evapotranspiración y pérdida de agua interna.

En la Figura 1-18 se indica cómo la fertilización química ejerce un efecto altamente benéfico sobre la producción de hojas y pecíolos caídos. La producción de biomasa que puede ser reciclada por esta vía, corresponde aproximadamente a 8% y 9% del rendimiento final (toda la planta) para las plantas con o sin fertilización química, respectivamente.

La Figura 1-18 consigna el contenido medio de nutrientes en hojas y pecíolos caídos del cv. CM 523-7 en un suelo de Quilichao, Cauca, durante 10 meses de crecimiento. Los nutrientes que más aportan a estos órganos de la planta son el Ca y el N. El Mg y el K contribuyen con un contenido intermedio, mientras que el aporte más pobre viene del S y del P, como se indica en la Figura 1-18.

En sí, la sola acumulación de nutrientes en estos dos órganos representa recuperar una pérdida altísima de nutrientes del suelo; sería difícil de recuperar si no se hiciera una adecuada fertilización de mantenimiento.

Está claro, sin embargo, que nunca en la cosecha final se tiene en cuenta el aporte de todos los nutrientes acumulados en hojas y pecíolos caídos en el ciclo de desarrollo, y en hojas y pecíolos aportados por la planta en la cosecha, los cuales, al ser devueltos al suelo, contribuyen con un aporte de nutrientes para el suelo y la misma planta mediante el reciclaje.

Howeler y Cadavid (1983) escriben que una buena parte del N removido del suelo puede retornar al mismo suelo con la incorporación de hojas y tallos. CIAT (1981) afirma que cantidades considerables de este nutriente son devueltas al suelo por hojas caídas durante el ciclo de crecimiento de la yuca.

El aprovechamiento de este material muerto (mulch) y los nutrientes que aporta están directamente relacionados con la actividad microbiana, la descomposición rápida a través del tiempo, la tasa de mineralización, las pérdidas que puedan tener los nutrientes por lavado, y otros factores inherentes al suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Burger D; Carvalho E. 1986. A produção de adubos orgânicos no sistema "cultivo em faixas". En: Pesquisas sobre utilização e conservação do solo na amazônia oriental. Relatório final do convênio EMBRAPA-CPATUGTZ, Belém, Brasil. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido, Brasil. p. 223-243.
- Burbano H. 1989. Las enmiendas orgánicas en el suelo: una visión sobre sus componentes orgánicos. Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. p. 386-422.
- Cadavid LF; Howeler RH. 1987. El problema de la erosión en los suelos de Mondomo, Cauca, Colombia, dedicados al cultivo de la yuca y sus posibles soluciones. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional, sede Palmira, Colombia. 129 p.
- Cadavid LF. 1987. Abonos verdes en suelos agotados dedicados a la siembra de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Suelos Ecuatoriales 17(2):178-183.



- Cadavid LF. 1988. Efecto de la fertilización y humedad relativa sobre la absorción y distribución de nutrimentos en yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Tesis (Maestría). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional, sede Palmira, Colombia. 200 p.
- Cadavid LF. 1990. Investigaciones realizadas para la conservación de los suelos de ladera. *Suelos Ecuatoriales* 20(1):136-144.
- Cadavid LF; Acosta A; El-Sharkawy M. 1993. Manejo de un suelo arenoso en Pivijay, Magdalena, dedicado a la producción de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Suelos Ecuatoriales* 23(1/2):155-161.
- Cadavid LF. 1995. Utilización de abonos verdes en suelos dedicados a la siembra de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 17 p.
- Cadavid LF; Acosta A; El-Sharkawy MA. 1995. Efecto de preparación, mulch y abonamiento en el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en suelos arenosos de Colombia. *Suelos Ecuatoriales* 25:7-10.
- Cadavid LF. 1997. Manejo productivo de suelos de ladera cultivados con yuca (*Manihot esculenta* Crantz). En: Fertilidad del suelo y su potencial productivo: fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Memorias del Seminario sobre fertilidad del suelo y su potencial productivo, Palmira, Colombia, 1995. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS), Bogotá D.C., Colombia. p. 134-143.
- Cadavid LF; Calle CF. 1997. La fertilización de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). 13 p. (Multicopiado.)
- Cadavid LF; El-Sharkawy MA; Acosta A; Sánchez T. 1998. Long-term effects of mulch, fertilization and tillage on cassava grown in sandy soils in northern Colombia. *Field Crops Research* 57:45-56.
- Caicedo G JA. 1993. Respuesta de cuatro cultivares de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) a la modificación del estado hídrico del suelo. Tesis. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira, Colombia. 177 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1993. Cassava Program: Agronomy in Asia. Working Document no. 91. Report 1987-1988. p. 417-430.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1981. Utilización de la yuca. En: Programa de Yuca, Informe Anual 1981. Cali, Colombia. p. 231-250.
- Cobo QL. 1998. Diseño, construcción y evaluación de un minisimulador portátil de lluvia para estudios de susceptibilidad a erosión de laderas. Tesis. Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad del Valle y Universidad Nacional, sede Palmira, Colombia. 64 p.
- El-Sharkawy MA; Cadavid LF. 2000. Genetic variation within cassava germplasm in response to potassium. *Experimental Agriculture* 36(3):323-334.
- Gnahoua G; Kabrah Y. 1988. Cassava yield trend and the dynamics of soil chemical parameters in Southeastern Côte d'Ivoire. En: VIII Symposium of the International Society for Tropical Roots Crops. Bangkok, Thailand. p. 237-242.
- Gómez AA; Alarcón C. 1975. Prácticas culturales de conservación. En: Manual de conservación de suelos de ladera. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Chinchiná, Colombia. p. 93-119.
- Howeler RH; Cadavid LF. 1982. El cultivo de la yuca con conservación del suelo en la región de Mondomo. 7 p. (Multicopiado.)



- Howeler RH; Cadavid LF. 1983. Accumulation and distribution of dry matter and nutrients during a 12-month cycle of cassava. *Field Crops Research (Holanda)* 7:123-139.
- Howeler RH; Cadavid LF. 1984. Prácticas de conservación de suelos para producción de yuca en ladera. *Suelos Ecuatoriales* 14(1):303-310.
- Howeler RH. 1984. Prácticas de conservación de suelos para cultivos anuales. En: Howeler RH, ed. Manejo y conservación de suelos de ladera. *Memorias. Seminario sobre Manejo y Conservación de Suelos*, Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 77-93.
- Howeler RH. 1986. El control de la erosión con prácticas agronómicas sencillas. *Suelos Ecuatoriales* 16(1):70-84.
- Howeler RH; Cadavid LF. 2000. El cultivo de yuca con conservación del suelo en la región de Mondomo. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 2 p. (Multicopiado.)
- Howeler RH; El-Sharkway MA; Cadavid LF. 2000. The use of grain and forage legumes for soil fertility maintenance and erosion control in cassava in Colombia. 30 p. (En impresión.)
- Howeler RH. 2001. Nutrient input and losses in cassava-based cropping system: examples from Vietnam and Thailand. Presentado en el Workshop on Nutrient Balances for Sustainable Production and Natural Resource Management in Southeast Asia, Bangkok, Tailandia, febrero 2001. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Regional Cassava Office, Dept. of Agriculture, Chatuchak, Bangkok. 30 p.
- Ortiz RG; Quintero DR. 1997. Fertilidad del suelo y su potencial productivo. En: Ortiz RG; Quintero DR (eds.). *Seminario Fertilidad del Suelo y su Potencial Productivo*, 1995. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Comité Regional del Valle, Palmira, Colombia. 209 p.
- Prager M; Angel DI. 1989. Contribución de los abonos verdes al mejoramiento de la calidad de los suelos. Centro Latinoamericano de Tecnología y Educación Rural, Cali, Colombia. 45 p.
- Ruppenthal M. 1995. Soil conservation in Andean cropping systems: soil erosion and crop productivity in traditional and forage-legume based cassava cropping systems in the South Colombian Andes. Margraf Verlag, Weikersheim, Alemania. 110 p.
- Torres E. 1981. Manual de conservación de suelos agrícolas. Editorial Diana, México. p. 123-135.



2. SEMILLA VEGETATIVA DE YUCA

Javier López*

Calidad de las Estacas

Para que la semilla sea un componente tecnológico altamente productivo, requiere poseer calidad. La experiencia ha demostrado que una semilla de buena calidad permite obtener buenos resultados en el campo, mientras que una semilla de mala calidad conduce a resultados pocos satisfactorios y fracasos.

La calidad es un conjunto de cualidades genéticas, fisiológicas y sanitarias que dan a las estacas su capacidad para dar origen a plantas productivas. La presencia en niveles altos de estos tres componentes esenciales de la calidad, permite que la semilla se encuentre en su máxima calidad integral. Por otro lado, la debilidad de cualquiera de sus componentes introduce el factor limitante. Es así como genotipos perfectos no podrían expresar su verdadero potencial si la semilla está fisiológicamente deteriorada y muestra mala germinación.

Los atributos cualitativos de una variedad, generada por los trabajos de mejoramiento genético, solamente serán transferidos al agricultor en el caso de que no haya deterioro de sus características de generación en generación en el proceso de multiplicación de semillas.

Calidad genética

Esta calidad se produce en la etapa de mejoramiento genético. Los trabajos de cruzamientos, selecciones y pruebas regionales están orientados a escoger aquellos materiales que contienen un programa genético apropiado para las condiciones encontradas en las diferentes zonas agroecológicas. Cuando los materiales seleccionados se cristalizan en variedades aceptables para los usuarios, se procede a recomendar su utilización masiva y comercial.

Para ser útil a la comunidad agrícola serán necesarias cantidades masivas de estacas de dicha variedad, y es en el proceso de multiplicación cuando aparece la necesidad de mantener la identidad genética.

La calidad genética se puede asegurar sembrando semillas auténticas; es decir, que el material de siembra se tome de cultivos certificados por entidades como el ICA, donde no haya mezclas varietales, y manteniendo esa autenticidad con metodologías preventivas (por ejemplo, evitando la siembra en terrenos que inmediatamente antes hayan sido sembrados con otra variedad de yuca) e inspecciones para eliminar plantas fuera de tipo.

Los factores genéticos que más afectan la producción de semilla de una variedad de yuca son su vigor general y el hábito de ramificación. Mientras que el vigor incide en el crecimiento total de la parte aérea de la planta y, por lo tanto, en la cantidad de ramas de las cuales se pueden obtener estacas, el hábito de ramificación influye sobre la disponibilidad de tallos primario y secundario, que son las partes más usadas para material de siembra.

En términos generales, las variedades vigorosas producen más estacas que las no vigorosas, pero la mayor diferencia radica en el tipo de ramificación, ya que en variedades con ramificación tardía, la proporción de tallos primario y secundario es mayor que en genotipos con ramificación temprana, obteniéndose, por lo tanto, un mayor número de semillas y de mayor peso promedio.

* Ingeniero Agrónomo, M. Sc. Suelos. E-mail: ingjavierlopez@yahoo.es



Calidad fisiológica

El resultado tangible de la calidad fisiológica está en la facultad de la estaca de brotar y dar origen a una planta vigorosa. En la calidad fisiológica se incluyen los siguientes aspectos:

- **Nutrición de la semilla**

El contenido nutricional de las estacas es fundamental para la iniciación de la nueva planta, ya que durante los 20 días siguientes a la siembra su crecimiento se realiza exclusivamente a expensas de las reservas acumuladas en los tallos. Tres semanas después de la siembra, con la aparición de las primeras hojas y raíces, la fotosíntesis empieza a contribuir al crecimiento de la planta, la cual, sin embargo, continúa utilizando las reservas nutritivas de la estaca hasta los 40 días (Hunt et al., 1977).

Se ha encontrado que la fertilidad del suelo tiene un marcado efecto sobre el crecimiento de la parte aérea de la yuca y, en especial, sobre el estado nutricional de los tallos utilizados como material de siembra.

En suelos poco fértiles, tanto la calidad como la cantidad que se producen son reducidas, pero se pueden estimular considerablemente por medio de la fertilización. Esta fertilización conduce a un aumento en el nivel de reservas nutricionales de los tallos, lo cual permite mejorar su desempeño cuando se utilizan como material de siembra.

En efecto, se han estudiado diferentes niveles de N, P y K en terrenos plantados con parcelas de semillas. Los resultados mostraron que tanto la concentración como el contenido de N, P y K en los tallos varían según el nivel de N, P y K en el suelo. Así, plantas de yuca sembradas en un suelo de baja fertilidad produjeron tallos con bajo contenido de N, P y K. Cuando en dicho suelo se aplicó un nivel alto de fertilización, los tallos producidos presentaron contenidos altos, no solamente de N, P y K, sino también de almidón, azúcares reductores y azúcares totales.

Cuando esos tallos se utilizaron como material de siembra, se encontró que el porcentaje de germinación de las estacas era fuertemente influido por el nivel de K, así como por el equilibrio del K con el N y el P.

Es importante resaltar que el hecho de sembrar las estacas obtenidas de un suelo, con o sin aplicación de fertilizantes, no incidió en su capacidad de germinación, ya que lo importante para este proceso fue la cantidad de reservas nutricionales que tuvo la estaca.

Utilizando estacas con un alto contenido nutricional fue posible obtener plantas en una mayor producción de tallos aptos para usar como material de siembra; esto es muy importante para programas de producción de semilla, debido a la baja tasa de multiplicación que tiene la yuca.

Adicionalmente, una fertilización de la parcela de semillas con énfasis en K, permitió que las estacas obtenidas produjeran, a su vez, una mayor cantidad de follaje, lo cual es un factor de especial interés en la realización de una agricultura sostenible en regiones de ladera, ya que al aumentar la cobertura del suelo, disminuye la erosión hídrica.

Finalmente, el uso de estacas con un adecuado contenido nutricional permitió obtener aumentos en la producción total de raíces frescas, debido, principalmente, a un mayor tamaño de las raíces y, en menor grado, a un mayor número de raíces producidas.

Por lo tanto, la utilización de estacas de buena calidad nutricional que permitan mostrar el verdadero potencial de rendimiento de las variedades es un componente tecnológico de bajo costo que permitiría a los agricultores aumentar la producción de yuca, con una adecuada conservación del suelo.



Lo expuesto anteriormente tiene gran importancia en programas de producción de semilla, particularmente los dirigidos hacia regiones de suelos ácidos e infértiles clasificados, principalmente, como Oxisoles y Ultisoles, y que en países como Colombia, Venezuela, Brasil y Bolivia son áreas yuqueras actuales o potenciales.

▪ *Edad de la semilla*

Una estaca de yuca normalmente produce de uno a cuatro brotes que forman los tallos primarios. La aparición de flores produce la ramificación de estos tallos primarios, con la consecuente formación de los tallos secundarios, terciarios y así sucesivamente, de acuerdo con el ciclo de floración y ramificación de la variedad. Por consiguiente, los tallos primarios de la planta representan el tejido de mayor edad, mientras que los tallos secundarios, terciarios y de formación más reciente representan el tejido más joven.

El aumento en la edad del tejido trae como consecuencia un aumento en el grosor y estado de lignificación del xilema, junto con una reducción proporcional del tejido medular. Cuando este proceso ha avanzado lo suficiente, los tallos se consideran maduros y aptos para servir como semilla, ya que su grosor y lignificación les suministran suficientes reservas nutricionales y resistencia a la deshidratación.

En realidad, cualquier sección de la planta, desde la parte basal hasta el meristema apical, permite la obtención de una nueva planta, pero en el ámbito comercial es conveniente descartar la parte herbácea que, por su bajo contenido de materia seca, tiene una alta probabilidad de deshidratarse en el campo después de la siembra; se utiliza el resto de la planta como materia de siembra.

Sin embargo, parece que existe relación directa entre la edad de la semilla y el comportamiento de la nueva planta. La mayoría de los investigadores opinan que con estacas tomadas de los tallos primarios o parte basal se obtienen plantas con rendimientos más altos que los obtenidos con estacas de parte apical.

Esta diferencia en los rendimientos podría atribuirse a diferencia en reservas nutritivas de las estacas, ya que su composición química (N, P, K, Ca y Mg) varía entre diferentes secciones a lo largo del tallo. El aumento en rendimiento, a medida que aumenta la edad de las estacas, podría deberse entonces a una mayor concentración de elementos nutritivos, principalmente, N y K, y a un mayor contenido de materia seca. Así, la mayor cantidad total de N, P, K, almidón y fibra se acumula en la porción más vieja de los tallos.

▪ *Viabilidad de la semilla*

La viabilidad de las estacas está directamente relacionada con su contenido de humedad. En una planta de 10-12 meses, los tallos tienen alrededor de 70% de humedad, y las estacas que ellos produzcan tendrán viabilidad cercana a 100%. Una vez cortadas, se inicia la deshidratación de las estacas, que se acelera cuando son almacenadas en un lugar con alta temperatura y baja humedad relativa, y su efecto es tan severo que una disminución de 20% en el contenido de humedad puede ocasionar una reducción de 50% en la brotación de las semillas.

Un indicativo visual para estimar el contenido de humedad y, por ende, la viabilidad de las estacas, es la velocidad con la que el látex característico de las plantas euforbiáceas fluye de una estaca recién cortada. Si fluye inmediatamente significa que tiene suficiente humedad y, por lo tanto, un buen poder de germinación. A medida que una estaca se deshidrata, se hace más lenta la aparición del látex y es menor su cantidad.

Calidad sanitaria

En la producción del material de siembra se pueden presentar problemas sanitarios inducidos por patógenos (hongos, bacterias, micoplasmas y virus), y por plagas (insectos y ácaros), los cuales reducen la cantidad de estacas que puede producir cada planta, pero también reducen la calidad del material de propagación, lo cual se refleja en bajos rendimientos. También representan un riesgo en las áreas donde se introduzca el material afectado (Lozano et al., 1986).



▪ **Enfermedades transmitidas por estacas**

La yuca puede ser atacada por varios agentes patógenos que se transmiten por medio del material de siembra y que están en capacidad de disminuir los rendimientos del cultivo por varias causas:

- Disminución en la brotación de las estacas.
- Muerte de las estacas después de la brotación.
- Reducción en el vigor normal de las plantas.
- Reducción en el número de raíces engrosadas.
- Permanencia de inóculo potencial para siembras futuras.

Dichos patógenos pueden ser sistémicos o localizados.

▪ **Patógenos sistémicos**

Son aquellos capaces de invadir toda la planta. Generalmente no producen síntomas en los tejidos lignificados y maduros, lo cual dificulta la identificación del material enfermo una vez cortado. Casi siempre los síntomas se desarrollan en el sistema foliar o ramas jóvenes, poco lignificadas, o aun en el sistema radical (Lozano y Jayasinghe, 1982).

Estas plantas constituyen la fuente del inóculo primario en una nueva plantación. Entre los patógenos sistémicos diseminados por el material de siembra están:

Hongos. El patógeno fungoso sistémico más importante de la yuca es *Diplodia manihotis*, el cual produce estriados necróticos marrones a lo largo del sistema vascular afectado. Otros menos importantes son *Fusarium solani* y *F. oxysporum*. El hongo *Sphaceloma manihoticola*, causante del superalargamiento, aunque no es propiamente sistémico, produce una gran cantidad de esporas en chancros epidermales sobre los tejidos maduros del tallo, de un tamaño tan diminuto que hace inidentificable el patógeno, y el gran número de ellos lo hace parecer sistémico (Lozano y Jayasinghe, 1982).

Bacterias. La enfermedad bacterial más importante y una de las más graves del cultivo es el añublo bacterial, causado por *Xanthomonas axonopodis* p.v. *manihotis*, el cual puede producir pérdidas económicas de más de 50%. Cuando las estacas de yuca están infectadas del añublo bacterial, pueden ocurrir pérdidas de germinación superiores a 25%. Este patógeno se restringe a los tejidos del xilema de los tallos inmaduros del hospedero, debido a que la bacteria es incapaz de degradar los tejidos lignificados del tallo; por lo tanto, es muy difícil detectar la presencia de esta bacteria en tallos lignificados que son los usados normalmente para la siembra, cuando ya han sido cortados para semilla. Además, la severidad de la enfermedad se reduce considerablemente durante los períodos secos del año; por lo tanto, en esta época, la selección visual de material de propagación sana procedente de una plantación infectada es a veces imposible. Considerando su capacidad diseminante (debido al efecto de la lluvia, insectos, herramientas y suelo infestado), la dispersión del patógeno puede ocurrir en períodos relativamente cortos a partir de unas pocas plantas enfermas (Lozano, 1982).

Micoplasmas. El superbrotamiento, enfermedad causada por un micoplasma, se ha encontrado en Brasil, Venezuela, México y en la región amazónica de Perú. Aunque su incidencia no es de consideración, se ha encontrado que las plantas afectadas producen hasta 80% menos que las sanas (Lozano, 1982).

Virus. Los virus pueden producir en las plantas síntomas foliares, como son el mosaico africano, el mosaico común americano, el mosaico de las nervaduras y el mosaico caribeño, o síntomas radicales, como el cuero de sapo. También hay virosis que no muestran síntomas visibles aparentes en algunos cultivares (portadores), limitándose a reducir paulatina y levemente su vigor normal y producción.

Aunque se pueden producir plantas sanas, es conveniente probar su sanidad, mediante técnicas de laboratorio como serología, microscopía electrónica, hibridación de ácidos nucleicos, entre otras (Lozano y Jayasinghe, 1982).



▪ **Patógenos localizados**

Son aquellos cuya capacidad invasora no es sistémica, o sea, que sólo invaden zonas o partes limitadas del tallo. Su presencia se caracteriza por la formación de chancros, agallas y áreas necróticas.

Pertenece a este tipo *Erwinia carotovora* pv *carotovora* (pudrición bacterial del tallo), que ocasiona degradación de la médula, la cual presenta una coloración amarillenta, rojiza o marrón oscuro; *Agrobacterium tumefaciens* (agalla bacteriana del tallo), que produce agallas en los nudos del tallo; *Colletotrichum* spp. (antracnosis) y *Phoma* spp. (mancha de anillos circulares), que causan llagas epidermales y corticales (Lozano y Jayasinghe, 1982). Los patógenos localizados penetran en el tallo a través de las heridas causadas por medios mecánicos o por insectos, directamente por los estomas o por invasión de los peciolas. La invasión por estos patógenos generalmente decrece a medida que el tallo se lignifica.

Se puede usar como material de siembra toda porción del tallo que esté sana y, por consiguiente, al seleccionar las estacas se deben eliminar las porciones del tallo afectadas por estos agentes patógenos (CIAT, 1987b).

Como norma general, el material de propagación de yuca debe colectarse de plantaciones aparentemente libres de patógenos sistémicos. Esta aparente sanidad es necesario verificarla mediante inspecciones a los cultivos en épocas con condiciones climáticas favorables al desarrollo de las enfermedades; por ejemplo, desde la mitad hasta el final de la estación lluviosa, los síntomas de superalargamiento, añublo bacteriano y mosaicos causados por virus son más notorios que durante la sequía. Antes de hacerse la colección respectiva deben identificarse las plantas más vigorosas y sanas de las plantaciones (Lozano y Jayasinghe, 1982).

Plagas transmitidas por estacas

Entre los daños que los insectos pueden ocasionar al cultivo de la yuca están la reducción en la germinación y el establecimiento de las plantas mediante el ataque al material de siembra. La diseminación de huevos de insectos y ácaros es más probable que la de larvas y adultos, ya que éstos vienen sobre la epidermis del tallo, lo cual hace que sean relativamente fáciles de detectar. Sin embargo, los barrenadores del tallo, los insectos escamas y los huevos de ácaros pueden diseminarse fácilmente vía material de propagación (Lozano, 1982).

El riesgo de diseminar ácaros a otras regiones es mayor cuando ha ocurrido un brote severo en un área y se transporta semilla de dicha área a otra zona; es así como posiblemente se introdujo el ácaro *Mononychellus tanajoa* en África. Las escamas y el piojo blanco o harinoso también se diseminan de este modo. Según el grado de infestación, estos insectos pueden reducir la germinación de las estacas en 70%. Los huevos y las larvas de otros insectos, tales como los trips, también pueden encontrarse en las yemas del tallo y en las ramas, y se diseminan al transportar estacas afectadas (CIAT, 1987b).

▪ **Acaros e insectos adheridos al tallo**

Acaros. Es, probablemente, la plaga más grave que tiene la yuca. Frecuentemente, atacan el cultivo durante la estación seca y causan daños severos en la mayoría de las regiones productoras del mundo. Las principales especies son *M. tanajoa* (ácaro verde), *Tetranychus urticae* (ácaro rojo) y *Oligonychus peruvianus*. Las infestaciones de ácaros en el CIAT incluyen estas tres especies y, experimentalmente, se ha detectado un pérdida en rendimiento de 20% a 53%, dependiendo de la duración del ataque (Bellotti, 1982).

Escamas. Se han identificado varias especies de escamas que atacan el tallo de yuca en muchas regiones productoras del mundo, siendo las más importantes la escama blanca *Aonidomytilus albus* y la escama negra *Saissetia miranda*. *Aonidomytilus albus* se encuentra presente en, prácticamente, todas las regiones yuqueras del mundo. Este insecto, que pudo haber sido diseminado de un continente a otro en el material de propagación, se ha convertido en la plaga de yuca más ampliamente distribuida.



El daño más grave, resultante del ataque de estos insectos, parece ser la pérdida de material de propagación, debido a la muerte de las yemas. Los estudios efectuados en el CIAT con estacas altamente infectadas con *A. albus* dieron como resultado una pérdida en la germinación de 50%-60% (Bellotti y Schoonhoven, 1978).

Trips. Atacan las plantas en los puntos de crecimiento, siendo la especie más importante *Frankliniella williamsi*. La reducción promedio en el rendimiento para ocho variedades susceptibles en Colombia fue de 17.27% (Bellotti y Schoonhoven, 1978) y la reducción en la producción de material de siembra puede llegar a 57% (Lozano et al., 1986).

▪ **Insectos dentro del tallo**

Mosca de la fruta. Se han identificado dos especies de mosca de la fruta, *Anastrepha pickeli* y *A. manihoti*, las cuales atacan la yuca en América. Las larvas de esta mosca hacen túneles en los tallos de la planta de yuca, formando galerías de color marrón en el área de la médula. Un patógeno bacteriano (*Erwinia carotovora* pv. *carotovora*), frecuentemente encontrado en asociación con las larvas de la mosca de la fruta, puede causar pudriciones severas del tejido del tallo.

Esta pudrición secundaria puede ocasionar disminución del rendimiento y pérdida de material de siembra, ya que la germinación de las estacas obtenidas de este material puede reducirse hasta en 16% y el rendimiento de plantas provenientes de estacas dañadas llega a ser 17% más bajo que el de plantas provenientes de material sano (Bellotti y Schoonhoven, 1978).

Barrenadores del tallo. En el material de siembra se han encontrado barrenadores del tallo, principalmente estados larvales de Coleoptera como *Coleostermes* spp. y *Lagochirus* spp. y de Lepidoptera como *Chilomina* sp., que, generalmente, causan daños esporádicos o localizados. La infestación puede ocurrir en las plantas en crecimiento, pero también durante el almacenamiento de los tallos, por lo cual el material de siembra se debe inspeccionar cuidadosamente antes de su utilización (Bellotti, 1982).

Comejenes. Los comejenes atacan la yuca, principalmente en las tierras bajas del trópico. Se ha reportado como plaga en diversas regiones del mundo, principalmente en África. En Colombia, *Coptotermes niger* se alimenta de material de siembra, de raíces o de plantas en crecimiento que presentan partes en proceso de secamiento o de muerte, debido a condiciones climáticas desfavorables, patógenos o mala calidad de la semilla.

En estudios efectuados en el CIAT, los comejenes destruyeron casi 50% del material de propagación almacenado, y las pérdidas en germinación oscilaron entre 25% y 30% (Bellotti y Schoonhoven, 1978). En la Costa Norte colombiana se ha observado que los comejenes pueden atacar tallos almacenados, causando gran pérdida de material de siembra, pero también disminuye la germinación y el establecimiento de las estacas cuando éstas se siembran llevando el insecto en su interior. Estacas libres de comején también pueden ser atacadas por este insecto cuando después de la siembra viene un período seco.

Selección del Material de Siembra

Debido a su largo ciclo de crecimiento, la yuca está sujeta continuamente a presiones de factores bióticos (plagas y enfermedades) y abióticos (clima, suelo), factores que pueden disminuir la calidad del material de siembra.

Las variedades tradicionales han estado bajo estas presiones bióticas y abióticas durante considerables períodos de tiempo y su efecto puede ser un decrecimiento acumulativo de la calidad del material de siembra después de muchos ciclos de propagación vegetativa (Lozano et al., 1984).

El efecto de la mala calidad de la semilla sobre la producción es imprevisible, pero a veces reduce los rendimientos en mucho más de 50% (Lozano, 1987).



Por lo tanto, se recomienda hacer una selección positiva de las plantas que van a suministrar el material de siembra para las parcelas de semillas. De acuerdo con CIAT, (1987a), los rendimientos, especialmente de las variedades tradicionales, se pueden aumentar con la sola utilización de material de siembra tomado de plantas vigorosas y, aparentemente, libres de enfermedades. Este sistema de selección es menos efectivo en los clones nuevos que en los tradicionales.

Sin embargo, plantas aparentemente sanas pueden estar infectadas con virus latentes (que no muestran síntomas visibles) o por hongos endófitos dañinos (Lozano y Laberry, 1993). También pueden haber sufrido afecciones tan recientes que en el momento no muestran síntomas.

Por esta razón, cuando además del aspecto exterior, las plantas que servirán como fuente de estacas se seleccionan por una alta producción de raíces, se asume el principio simple de que las plantas con más alto rendimiento deben ser las más sanas (Lozano, 1987).

Procesamiento de la semilla

Corte. Para el corte de las estacas se deben tener en cuenta dos aspectos: la longitud y la edad o ubicación de la estaca dentro de la planta.

La longitud de las estacas es importante por el número de nudos y por la cantidad de reservas nutricionales y humedad que contengan. El número de nudos está estrechamente relacionado con la variedad, la edad de la planta y de la estaca.

Una planta madura tiene mayor número de nudos que una planta joven; adicionalmente, en las plantas maduras la parte basal tiene entrenudos más cortos que la parte apical.

Teóricamente, para obtener una nueva planta sólo sería necesario sembrar un trozo de tallo del tamaño apenas suficiente para que contenga un nudo. Sin embargo, son muy escasas las posibilidades para que una estaca tan corta germine y enraíce bajo condiciones de campo, ya que para evitar la deshidratación sería necesario mantener constantemente una buena humedad del suelo durante las primeras semanas después de la siembra.

En el caso contrario, estacas largas, de 60 cm o más, tienen altas posibilidades de enraizamiento y germinación, pero debido a su gran volumen presentan dificultades de manejo y transporte; además, de cada planta madre se obtendría un menor número de estacas.

La influencia que tiene la longitud de las estacas en el rendimiento ha sido tema de investigación en varios países y los resultados muestran tendencias a rendimientos ligeramente mayores con estacas largas; la razón, probablemente, es que el mayor contenido nutricional permite un mejor crecimiento inicial de las plantas, lo cual incide en una mejor tuberización de las raíces. La mayoría de investigadores opinan que estacas de 20 cm y al menos cinco nudos tienen suficientes reservas nutritivas y un adecuado número de yemas para asegurar un buen establecimiento y rendimiento del cultivo.

Se ha encontrado que estacas con menos de cinco nudos tienen menos raíces gruesas por planta y un menor peso promedio que las estacas con cinco o más nudos.

Tratamiento químico. Las estacas, una vez sembradas, pueden ser atacadas por insectos y por agentes patógenos del suelo que, por lo general, afectan inicialmente las yemas; también pueden penetrar por las raicillas y la base de los retoños o por los extremos de las estacas y heridas causadas en el manipuleo.

La selección del material de siembra, evitando su introducción desde regiones en que haya presencia de enfermedades o insectos que se transmitan a través de las estacas, y el tratamiento químico de las mismas



son prácticas que ayudan a reducir el riesgo de daños causados por estos patógenos e insectos. El tratamiento químico puede actuar de varias maneras, según el caso:

- **Erradicar patógenos presentes.** Aunque no se recomienda la utilización de material de siembra afectado por *Sphaceloma manihoticola* (superalargamiento) o por *Diplodia manihotis* (pudrición seca), cuando esto sea absolutamente necesario, se deben escoger las plantas menos afectadas y tratarlas con Captafol o con productos a base de cobre en el caso del superalargamiento y con Benomyl, en el caso de la pudrición seca. El Benomyl es un fungicida de acción sistémica, que también es útil en el tratamiento curativo de estacas afectadas por *Fusarium* spp. y por *Scytalidium* spp. (Lozano, 1991).
- **Inactivar un patógeno presente.** Cuando no se tenga la certeza de que un material de siembra está libre de añublo bacterial, se debe tratar con fungicidas a base de cobre, los cuales inhiben la multiplicación de la bacteria (Lozano, 1991).
- **Eliminar ácaros e insectos adheridos.** Huevos y adultos de ácaros y de insectos como escamas, piojo harinoso (*Phenacoccus* sp.) y trips se pueden eliminar mediante inmersión de las estacas en una solución de insecticidas tales como el Malatión (CIAT, 1987b).
- **Proteger las estacas de patógenos e insectos en el sitio de la siembra.**

Las diferencias en producción atribuidas a la selección y al tratamiento de las estacas son más notorias cuando se utilizan clones susceptibles o afectados, que cuando se utilizan clones resistentes.

Puede ocurrir, sin embargo, que con la selección y tratamiento de las estacas no se manifieste un efecto benéfico en los siguientes casos:

- Cuando la selección y el tratamiento se hacen en tallos de plantas vigorosas que crecen en una región sin problemas patológicos, entomológicos o con problemas leves.
- Cuando se utiliza para el tratamiento un producto inadecuado contra el patógeno que afecta la estaca o infesta el suelo donde se hará la siembra.

Corte de las estacas

Teniendo los tallos reunidos, se procede a cortarlos en estacas de 20 cm, para lo cual se utiliza un número de jornales que varía según el método empleado, así:

- Con machete y sosteniendo el tallo en una mano, se pueden cortar por jornal 3000 estacas de variedades de tallo blando.
- Con machete, pero apoyando el tallo sobre un madero, se pueden cortar hasta 8000 estacas por día.
- Con una sierra circular, accionada por un motor de 3 caballos de fuerza, se pueden cortar entre 15,000 y 18,000 estacas por jornal, dependiendo de la variedad: son más rendidoras las que no ramifican o que, por ramificar tardíamente, tienen tallos largos.

Empaque

Es recomendable poner uniformemente el mismo número de estacas en cada saco, ya que esta medida facilita el control del número de estacas cortadas (total y por jornal), el número de estacas transportadas y el número de estacas sembradas (total y por jornal).

La forma de empaquetar las estacas depende de la distancia del sitio de siembra. Así, la semilla que se va a utilizar a una corta distancia se puede empaquetar sin mayores precauciones, pero la que se debe transportar a sitios distantes es preferible empaquetarla en forma ordenada, lo cual permite colocar varios bultos de semilla, uno encima de otro, sin ocasionar daños físicos a las estacas durante el cargue, descargue y transporte. Con un jornal se empaquetan alrededor de 20,000 estacas en forma desordenada y 10,000 en forma ordenada.



Tratamiento de las estacas

El material con el que se fabrican los sacos influye en el costo final de las estacas, debido, por un lado, al costo mismo del saco y, por otro, a la diferente cantidad de solución que se requiere.

Aunque son muy apropiados para empacar estacas, los sacos de fique son los menos recomendables, debido a que tienen un costo cinco veces más alto, y absorben casi 10 veces más solución que los sacos de polipropileno.

Así, usando sacos de fique, se gastan 35 lt de solución para tratar 10,000 estacas, de las cuales sólo 10 lt se usan realmente en el tratamiento de las estacas, ya que los restantes 25 lt se quedan empapados en el saco (1 lt por saco); mientras que empleando sacos de polipropileno se gastan menos de 15 lt para tratar las 10,000 estacas.

BIBLIOGRAFÍA

- Bellotti AC; Schoonhoven A van. 1978. Plagas de la yuca y su control. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 73 p.
- Bellotti AC. 1982. Insectos y ácaros de la yuca y su control. En: Yuca: investigación, producción y utilización. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 367-392.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1987b. Selección y preparación de estacas de yuca para siembra. Guía de estudio para ser usada como complemento de la Unidad Audiotutorial sobre el mismo tema. Contenido científico: Lozano JC; Toro JC; Castro A; Bellotti AC. 26 p.
- Hunt LA; Wholey DW; Cock JH. 1977. Growth physiology of cassava. *Field Crops Abstracts* 30(2):77-91.
- Lozano JC. 1982. El peligro de introducir enfermedades y plagas de la yuca por medio de material vegetativo de propagación. En: Yuca: investigación, producción y utilización. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 475-484.
- Lozano JC; Jayasinghe Ú. 1982. Problemas fitopatológicos en la yuca diseminados por semilla sexual y asexual. En: Yuca: investigación, producción y utilización. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 485-490.
- Lozano JC; Pineda B; Jayasinghe V. 1984. Effect of cutting quality on cassava performance. En: Symposium of the International Society for Tropical Root Crops, 4th, Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Perú.
- Lozano JC; Bellotti A; Vargas O. 1986. Sanitary problems in the production of cassava planting material. En: Global workshop on root and tuber crops propagation. Proceedings of a regional workshop held in CIAT, Cali, Colombia, 1983. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 73-85.
- Lozano JC. 1987. Alternativas para el control de enfermedades en yuca. Reunión de trabajo sobre intercambio de germoplasma: cuarentena y mejoramiento de yuca y batata. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), y Centro Internacional de la Papa (CIP), Cali, Colombia, junio 1987.
- Lozano JC. 1991. Control integrado de enfermedades en yuca. *Fitopatología Venezolana* 4(2):30-36.
- Lozano JC; Laberry R. 1993. Hongos endófitos también en yuca. En: *Boletín Informativo*, Cali, Colombia 17(2):5-6.



3. METODOLOGÍA PARA EL ENDURECIMIENTO MASIVO DE VITROPLANTAS DE YUCA

Roberto J. Segovia*, Armando Bedoya**, William Triviño***, Hernán Ceballos^ψ, Guillermo Gálvez^{ψψ} y Bernardo Ospina^{ψψψ}

El cultivo de tejidos es una técnica utilizada para la micropropagación vegetal. En el cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz), la micropropagación vegetal ha sido aplicada con éxito para obtener vitroplantas de yuca.

Esta tecnología permite producir, en forma masiva, plántulas libres de plagas y patógenos, aumentando así su productividad y, en ciertos casos, su longevidad. En relación con la yuca se utiliza la micropropagación in vitro para producir plántulas libres de patógenos, tales como cuero de sapo, mosaico de la yuca y bacteriosis, entre otros. Esta micropropagación se puede realizar por el medio tradicional, con tasas bajas de multiplicación, o mejorarlas a través de sistemas de multiplicación más eficientes, como el Recipiente de Inmersión Temporal Automatizado (RITA) y el Sistema de Inmersión Temporal Automatizado (SITA).

Las plántulas producidas por cualquiera de estos sistemas, al cabo de 6 a 11 meses de estar bajo condiciones artificiales (luz, temperatura, humedad, alimentación) y en cuartos estériles, salen al medio ambiente como bebés de probeta, débiles y desadaptadas. Por consiguiente, se necesita una etapa de aclimatación o endurecimiento, que en yuca es un proceso muy delicado, antes de que las plántulas puedan ser trasladadas a su sitio definitivo. En la producción masiva de semilla de yuca, a través del tejido de cultivos, esta etapa constituye un cuello de botella.

El proceso de endurecimiento masivo de vitroplantas de yuca trae consigo **pérdidas** inevitables. El mayor porcentaje de plántulas perdidas se presenta en la fase del proceso de transferencia al suelo, es decir, cuando la plántula pasa del medio artificial al medio natural (el suelo) y debe adaptarse a nuevas condiciones microclimáticas. Cuando no se realiza con una adecuada tecnología, el porcentaje de pérdida es muy alto (entre 50% y 95%), y afecta el progreso agronómico del cultivo por dos razones:

- eleva el costo de esta tecnología alterna; y
- desalienta a los agricultores progresistas que desean utilizar material vegetal “limpio de enfermedades”, en forma rápida y segura o producir masivamente una nueva variedad promisoriosa en corto tiempo.

Otro inconveniente de este proceso de aclimatación es el costo y el tamaño de las **instalaciones** que necesita, o sea, de los invernaderos y casas de malla. Estos dos riesgos del proceso mencionado reducen la probabilidad de que esta nueva tecnología, y otras similares, hagan un impacto efectivo en la producción agrícola.

Los investigadores de la Corporación CLAYUCA, en asocio con Biotecnología de Colombia Ltda. (BIOTECOL) y otros investigadores del CIAT, han desarrollado una metodología que permite producir cantidades masivas de material de yuca para ‘siembra’ (estacas). En 2001 se logró producir un gran número de plantas a través del SITA. Mediante los trabajos aquí presentados, se logró una tecnología de endurecimiento funcional,

* Ingeniero Agrónomo. E-mail: rjsssegoviab@gmail.com

** Técnico de campo. Consultor CLAYUCA. E-mail: armandobedoya@yahoo.es

*** Técnico Programa de Yuca CIAT.

^ψ Ph.D. Mejoramiento. Programa de Yuca CIAT. E-mail: h.cebillos@cgiar.org

^{ψψ} Virólogo, CIAT, Cali, Colombia/BIOTECOL, Cali, Colombia.

^{ψψψ} M.Sc., Desarrollo Agrícola Internacional, Director Ejecutivo de CLAYUCA. E-mail: b.ospina@clayuca.org



sostenible y económica, minimizando significativamente el porcentaje de pérdidas de plántulas durante el proceso de endurecimiento.

Etapas del Proceso

Etapa 1. Actividades pre-operativas

El desarrollo normal de un PE exige una planificación previa que incluye un cronograma detallado de todas las actividades que integran el proceso, a saber, la selección del personal que lo ejecuta; la selección y adecuación de las instalaciones; los análisis de laboratorio; la adquisición de equipos, materiales e insumos; y la solicitud al laboratorio de biotecnología del número de vitroplantas que pueden 'endurecerse' por semana. La metodología del PE permite aclimatar 302 plántulas de yuca por m² de área útil de invernadero o de casa de malla. Se describen enseguida las principales actividades:

▪ **Recurso humano**

Es conveniente que la mano de obra sea calificada; si no lo es, que haya recibido, al menos, entrenamiento sobre los aspectos básicos del PE. El número necesario de operarios depende de su experiencia y de la cantidad de plantas que entran al proceso: un operario novato puede manipular unas 200 plantas por día y uno experto hasta 60.

▪ **Instalaciones**

Hay tres instalaciones principales: el área de trabajo y la casa de malla o el invernadero (o ambos, a veces). Hay que seleccionar primero las mejores entre las disponibles y luego, si es necesario, adecuarlas.

Área de trabajo. Consta de los siguientes espacios: un depósito para suelo y arena, una minibodega para guardar los materiales e insumos, un "patio de suelos" para hacer las mezclas, y un sitio fresco para la operación de trasplante; este último debe estar protegido de los rayos solares y de los vientos fuertes y debe tener, además, un lavadero y una mesa (Figura 3-1).

Casa de malla. Esta instalación (Figura 3-2) debe tener techo. Se debe adecuar luego con un sistema de climatización automático que tenga microaspersores (ver Invernadero), tanto suspendidos sobre las mesas o del techo como dispuestos en el piso, con el fin de controlar la temperatura y la humedad relativa, especialmente en los primeros días del proceso. Aunque se requiere alta luminosidad para favorecer el desarrollo de las plántulas, hay que evitar que éstas reciban directamente los rayos solares de la mañana, del medio día y de la tarde en los primeros 8 días de aclimatación; por tanto, debe instalarse una pantalla protectora que puede ser una de estas tres soluciones:

- Láminas de espuma de poliuretano (Icopor, en Colombia) recubiertas con papel de aluminio.
- Persianas recubiertas por fuera con papel de aluminio.
- Malla de polipropileno (Saram) recubierta en su exterior con varias láminas de papel de aluminio (30 cm de ancho cada una), dejando una separación de 5 cm entre las láminas. Esta ha sido, hasta ahora, la mejor solución en el CIAT.

Esta pantalla debe ser muy **funcional**. Se instala a ambos lados de la casa de malla (a la salida y al ocaso del sol), 1 ó 2 m por encima de la parte superior de las bolsas en que están las plántulas. Se retira paulatinamente, a medida que el sol hace su 'recorrido', para permitir la entrada de la luz en la instalación. El aluminio refleja los rayos del sol y evita el calentamiento del área donde se 'endurecen' las plantas.

En una casa de malla, la temperatura máxima oscila entre 33 y 38 °C y la mínima entre 18 y 22 °C. Un estudio más detallado del diseño y la construcción de una casa de malla tipo II del CIAT puede consultarse en el Apéndice G de la obra editada por Roca y Mroginski (1991).



Figura 3-1. Área de trabajo para el trasplante de vitroplantas en el CIAT.



Figura 3-2. Casa de malla tipo II CIAT para el proceso de endurecimiento de vitroplantas.

Invernadero. Esta es una instalación convencional, en la cual debe colocarse un sistema automático de riego con microaspersores. Tanto en el invernadero como en la casa de malla, el sistema debe estar controlado por una válvula solenoide y un reloj de control. Este sistema ahorra el 90% del costo de la mano de obra que se necesita para regar las plántulas.

Espacio para climatización. Tanto en la casa de malla como en el invernadero, las plántulas trasplantadas ocupan un espacio que puede aumentar hasta tres veces cuando las plantas han crecido (2 ó 3 meses después del trasplante); este aumento depende de la variedad de las plantas, de su crecimiento y de su desarrollo.

Por ejemplo, para plantar una hectárea con yuca se necesitan 10,000 plantas. La metodología de endurecimiento de plántulas de CLAYUCA las coloca inicialmente en un área del invernadero o de la casa de malla de 25 a 34 m² útiles, según el tamaño y el tipo de las bolsas de trasplante; 2 meses después del trasplante, esas 10,000 plantas necesitarán un área de 50 a 68 m².

Análisis de laboratorio

Es necesario hacer inicialmente el análisis químico y biológico del suelo, de la arena y del agua que se usará en las instalaciones. De este modo pueden corregirse los problemas que podrían presentarse.

Equipos, materiales e insumos

El proceso de 'aclimatación' de las plántulas de yuca requiere los siguientes elementos:

- Molino de suelo, zaranda (Figura 3-3), mezcladora de suelo, vagón de 'esterilización', fumigadora, equipo de protección para fumigación y pesticidas.
- Probeta, balanza, frasco lavador, tijeras, bandejas plásticas o bandejas de guadua.
- Recipiente amplio (bandeja) para recibir las plántulas con agar extraídas de sus frascos.
- Balde, pala, carreta y palines; manguera y regadera.
- Bolsas plásticas negras (14 x 7 cm) con perforaciones para el drenaje, bolsas plásticas transparentes (1 x 1 m).
- Libro de campo, hojas de registro, marcador indeleble, lápiz; miniestacas plásticas de identificación.



Para evitar una posible contaminación de las plantas, se deben desinfectar todos los implementos que se utilicen. Por ejemplo, si se cortan raíces u hojas con tijeras, éstas deben desinfectarse en una solución jabonosa cada vez que se haga un corte.

Etapa 2. Actividades operativas o técnicas

El éxito de un PE depende del manejo integral de una serie de operaciones que van desde la recepción de las vitroplantas hasta su trasplante.

Recepción de vitroplantas

Del laboratorio de biotecnología llegan cajas que contienen los frascos con las vitroplantas. Estos se retiran rápidamente de las cajas y se colocan, dejando espacio entre ellos, en un lugar fresco que tenga luz artificial o luz indirecta del sol. Allí se cuentan las vitroplantas y se registra el número de individuos por variedad (Figura 3-4).



Figura 3-3. Zaranda para tamizar suelo y arena en el proceso de endurecimiento.



A



B

Figura 3-4. Recuento e identificación de vitroplantas. (A) Recepción de vitroplantas con su tarjeta de identificación. (B) Frascos bien espaciados en una mesa.

En este paso se hace una **preselección**, que consiste en separar los frascos según la altura y el vigor de las vitroplantas (Figura 3-5) y en eliminar aquellos que se observan contaminados, quebrados o maltratados, o que contienen plántulas malformadas.

Pre-adaptación de plántulas

Si las vitroplantas han sido transportadas durante varios días en cajas cerradas, los frascos se colocan como se indicó antes hasta que las plántulas se recuperen. Se sugiere también dejar los frascos con las vitroplantas



durante 1 ó 2 días en las instalaciones en que se someterán al PE. Este tiempo brinda la oportunidad de hacer una **segunda preselección** de vitroplantas vigorosas.

Preparación del sustrato

Para preparar el sustrato en que se plantarán las plántulas, se mezcla una parte de suelo negro (o sea, de la capa arable no arcillosa) que haya sido molido y tamizado, y tres partes de arena gruesa, lavada y tamizada (Figura 3-6).

- Se recomienda ‘esterilizar’ este **sustrato** con vapor cuando se sospecha la presencia de nematodos y de hongos en el suelo empleado (Figura 3-7). Si no hubiera equipo de ‘esterilización’, se coloca la arena en un tonel o caneca metálica, se agrega agua suficiente y se calienta el tonel a 100 °C.
- Para ‘esterilizar’ el **suelo** se extiende una delgada capa de suelo sobre un plástico negro, se cubre éste con otro plástico transparente, se establece una unión hermética entre ambos, y el conjunto se deja una semana a plena exposición solar.

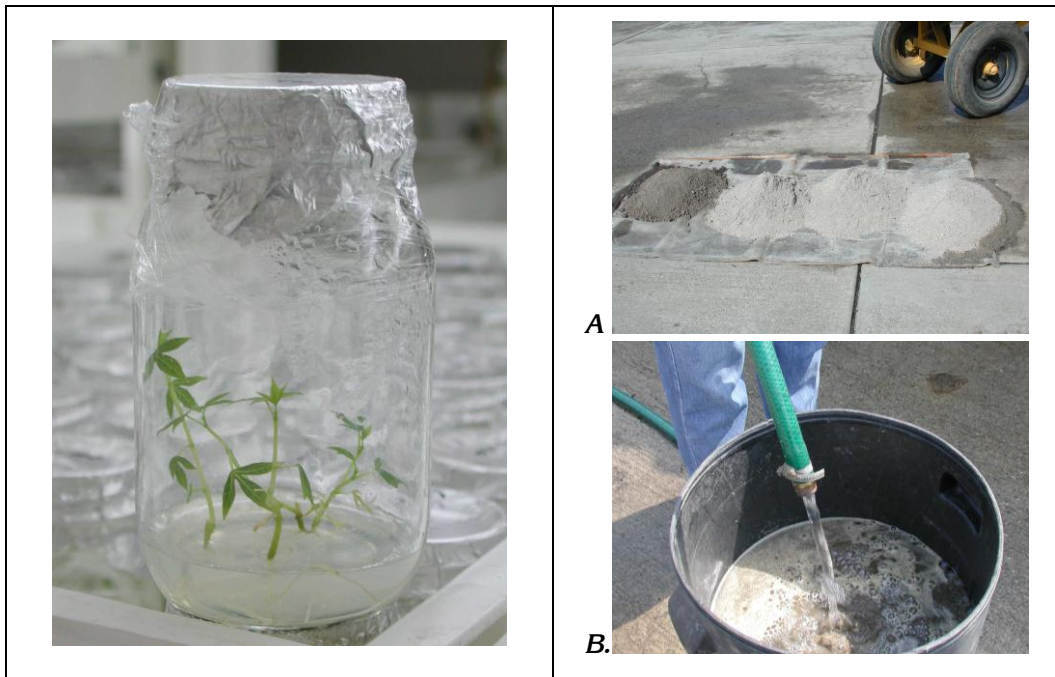


Figura 3-5. Preselección de vitroplantas en sus frascos.

Figura 3-6. Preparación del sustrato: (A) Mezcla 1:3 de suelo:arena. (B) Lavado de la arena.



Figura 3-7. Tratamiento del sustrato con vapor de agua para ‘esterilizarlo’.



Preparación del trasplante

Las actividades previas al trasplante son las siguientes: desinfectar y desinfestar las instalaciones, llenar las bolsas pequeñas, preparar la mezcla del fertilizante y el fungicida, y alistar las bandejas y las bolsas grandes que se emplearán en las minicámaras húmedas.

Asimismo, se recomienda entrenar nuevamente al personal en el proceso de trasplante. Este ejercicio permite comprobar el rendimiento del personal: en general, un técnico calificado trasplanta unas 600 plantas en un día laborable y un principiante alrededor de 200 plantas.

Desinfección y limpieza del sitio. Todas las instalaciones deben desinfectarse con hipoclorito de sodio y también desinfestarse, en forma rigurosa; además, los enseres y elementos que contienen deben colocarse ordenadamente. Esta operación de limpieza se extenderá al sitio en que se hace el trasplante y al área de la casa de malla o del invernadero donde se llevará a cabo el endurecimiento de las plántulas.

Preparación de las bolsas. Se pueden usar bolsas de dos tipos:

- Las bolsas plásticas negras (7 x 14 cm) se llenan con la mezcla de arena y suelo en los $\frac{3}{4}$ de su volumen (Figura 3-8). Se pueden usar también bolsas negras o transparentes de 7 x 14 cm.
- La mezcla se comprime fuertemente en la bolsa para obtener un sustrato compacto. Esta compactación estimulará más tarde la producción de raíces y las hará más largas y más gruesas.

Preparación de las bandejas. Sobre ellas se colocan las bolsas que contienen el sustrato ya compactado. Se prepara luego la siguiente solución:

- En 1 litro de agua deionizada (o de agua de lluvia) se mezclan 1 g de un fungicida que controla hongos del suelo (p. ej., Banrot) y 2 g de un fertilizante rico en fósforo (p. ej., de la fórmula 10-52-10).
- Enseguida se riega cada bolsa con 10 cc de la mezcla anterior (primer riego).

Preparación de cámaras húmedas. Se introduce luego la base de cada bandeja en una bolsa de plástico transparente (1 x 1 m, doblada) que ha sido plegada y recogida hasta su base, en todo su entorno (Figura 3-9A). Más tarde, la bolsa se extenderá hacia arriba deshaciendo los pliegues circulares, sus bordes se atarán firmemente y el conjunto hará entonces la función de una 'cámara húmeda' (Figura 3-9B).

Etapa 3. Actividades del proceso de trasplante

El trasplante es un proceso 'traumático' para las plántulas, especialmente cuando la mano de obra que lo ejecuta no es calificada o carece de experiencia. Las plántulas sufren un **estrés microclimático** cuando pasan de los frascos a las minicámaras húmedas, debido a los siguientes factores: deshidratación, paso de un sustrato rico en nutrientes a otro muy pobre en ellos (mezcla de suelo con arena), daños mecánicos casi inevitables en varias partes de la plántula (cofia, pelos absorbentes, raíces, tallo y hojas). Del cuidado con que se hagan las actividades del trasplante dependen el éxito de la climatización de las plántulas y su supervivencia.

El trasplante debe hacerse inmediatamente después de extraídas las vitroplantas de yuca de sus frascos. Cuando este proceso se realiza por primera vez y no se conocen muy bien las condiciones ambientales de las instalaciones en que se realizará, se sugiere que se inicie a las 17:00 todos los días con el fin de evitar la **deshidratación** de las plántulas. Las actividades más importantes del proceso son las siguientes:



Figura 3-8. Las bolsas negras se llenan con la mezcla del sustrato.



A.



B.

Figura 3-9. Cámaras húmedas: (A) Bolsas grandes de plástico enrolladas para acomodar las bandejas. (B) Las bolsas desenrolladas y firmemente cerradas arriba.

Selección

Se inicia el proceso con una **primera selección** de los frascos que contengan las plántulas más vigorosas, o sea, las de color verde intenso, que estén erguidas y cuyo tamaño oscile entre 5 y 7 cm.

Extracción de las vitroplantas

Esta operación consta de los siguientes pasos:

- Retirar la cinta plástica y la tapa de los frascos (Figura 3-10).
- Agregar agua deionizada o agua de lluvia al frasco para humedecer el sustrato de agar y facilitar la extracción del conjunto (plántula + agar) (Figura 3-11).
- Sostener el frasco con una mano y golpearlo con la otra suavemente hasta desprender el agar de las paredes del frasco. Si así no despega, se usa una espátula teniendo cuidado de no dañar las raíces.
- Extraer delicadamente la plántula, inclinando el frasco; no se utilizan pinzas para reducir el riesgo de causar daño al tallo.



- Colocar la plántula en un recipiente amplio (bandeja honda) con agua deionizada o agua de lluvia, donde puedan moverse las manos fácilmente para retirar el agar.
- Retirar suavemente, con el frasco lavador, las partículas de agar que sigan aún adheridas a las raíces.
- Hacer la **segunda selección** de plantas vigorosas, eliminando las pequeñas, las mal formadas y las débiles.



Figura 3-10. Se destapa cierto número de frascos para extraer las vitroplantas.



Figura 3-11. Se añade agua al frasco para extraer la plántula junto con el agar.

Trasplante

Con una mano se lleva la plántula a una bolsa, introduciendo en ésta su raíz y la parte inferior del tallito; esta mano debe mantenerse rígida para evitar la rotura de pelos absorbentes y de raíces de la plántula. Con la otra mano se agrega la cuarta parte de sustrato que no se había añadido, procurando que las raíces queden en posición normal, o sea, como se encontraban en el frasco: así se evitará que sufran algún efecto adverso (mecánico o fisiológico) debido al cambio de posición.

Una vez hecho el trasplante en todas las bolsas de la bandeja, las plántulas reciben el segundo riego con 10 cc de la mezcla de fertilizante y fungicida usada antes.

Cámara húmeda y endurecimiento

Los siguientes pasos dan comienzo al proceso real de endurecimiento de las plántulas:

- La bandeja se marca con una etiqueta en que figuren el nombre de la variedad, la cantidad de bolsas que contiene, la fecha y hora del trasplante, y el nombre del operario que hizo el trasplante.
- Se desenrolla entonces la bolsa transparente grande (1 m x 1 m) en cuyo fondo se había colocado la bandeja (ver antes), y se cierran sus bordes arriba atándolos con un cordel. En este momento, cada bolsa grande se convierte en una cámara húmeda.
- Las cámaras húmedas se trasladan finalmente al sitio de la instalación en que se llevará a cabo el PE. Para evitar que la parte superior de cada cámara se doble sobre las plántulas y las dañe, se sugiere que se sujete el cordel a un alambre tutor que se tiende por encima de las cámaras (Figura 3-12).



Etapas 4. Mantenimiento de las plántulas trasplantadas

En esta etapa se debe prestar mucha atención a los cambios microclimáticos que ocurran dentro de las instalaciones, al riego que requieran las plántulas, a su nutrición, y a la presencia en ellas de plagas y enfermedades.

Se recomienda, además, no mover las bolsas con las plántulas durante el primer mes después del trasplante para no causar daños a las raíces (especialmente en la cofia y en los pelos absorbentes). Estas partes de la planta son frágiles y 'quebradizas' en esta etapa temprana de su desarrollo. Los daños o roturas en los tejidos radicales aumentan la probabilidad de que entre en la planta un organismo patógeno o de que se retrase su crecimiento y desarrollo (o de que ocurran ambas cosas). Esta recomendación cobra mucha importancia en las Etapas 5 y 6 del proceso.

Microclima y cámara húmeda

Entre el día 8 y el día 12 después del trasplante (DDT) se retira —a ser posible en las horas de la tarde el cordel que cierra la cámara húmeda y ésta (la bolsa grande transparente) se abre completamente (Figura 3-13).

- El objetivo de esta operación es permitir que las plántulas se adapten al microambiente de las instalaciones.
- Si se observa que tienden a marchitarse, se debe cerrar de nuevo la bolsa y continuar con el tratamiento de cámara húmeda.
- Si las plántulas se han adaptado bien al microambiente al segundo o tercer día después de abrir la bolsa grande (8 a 12 DDT), ésta se enrolla hasta la base de la bandeja o se retira para dejar sólo la bandeja con las plántulas. En este paso se debe evitar que un viento fuerte deshidrate las plántulas (Figura 3-14).



Figura 3-12. La bolsa grande se cierra sobre la bandeja llena de plántulas y se convierte en cámara húmeda.



Figura 3-13. Apertura total de la cámara húmeda a los 8-12 días del proceso de endurecimiento.

Riego

Si se han regado las plántulas con la cantidad correcta de solución nutritiva y se ha formado bien el ambiente de la minicámara húmeda, las plántulas no necesitan riego en esta etapa.

Si se presentan (y sólo entonces) los primeros síntomas de marchitez fisiológica de las plántulas una vez retirada la bolsa grande de la cámara húmeda, el sustrato recibe el **tercer riego**. Se procura no humedecer las hojas para alejar el riesgo del ataque de algún patógeno. Cada plántula se riega con 10 cc de una solución



nutritiva que consiste en una mezcla de 2 g de fertilizante rico en fósforo para promover la formación de raíces (por ejemplo, 10-52-10), y 1 g de Agrimins (un fertilizante rico en elementos menores) por litro de agua deionizada (o de lluvia) (Figura 3-15).



Figura 3-14. Plántulas de una bandeja ya adaptadas al microambiente (8 a 12 días después del trasplante).



Figura 3-15. Riego de las plántulas con solución nutritiva cuando presentan síntomas de marchitez.

Según las condiciones microclimáticas de las instalaciones y según el estado de turgencia de las plántulas, se pueden programar luego uno o dos riegos diarios, cada uno con 10 cc del agua que se utiliza normalmente en el riego de otras plantas.

Se recomienda que, entre los 21 y 25 DDT, se implemente en las casas de malla un riego por microaspersión (RMA) (Figura 3-16), con el cual se reduce mucho el costo de la mano de obra. En las instalaciones del CIAT se dan a las plántulas de 2 a 3 minutos de RMA en la mañana y, si es necesario, otros 2 ó 3 minutos en la tarde. Cuando se aplica el RMA, es indispensable hacer inspecciones rigurosas para detectar cualquier **problema fitopatológico** en las plántulas.

El 'secreto' de esta operación, que es decisiva para el éxito del PE, está en aplicar el riego cuando se observen los primeros síntomas de marchitez fisiológica; de este modo, el sustrato no permanecerá muy húmedo y así se evitará un posible ataque de organismos patógenos en el área radicular. Es importante recordar que, en esta etapa, las plántulas de yuca son **muy susceptibles** al exceso de humedad del sustrato.

Fertilización

El sustrato utilizado (3 partes de arena por 1 parte de suelo) es poco fértil; por tanto, es indispensable trazar un programa de fertilización. Cada 8 días se fertilizarán las plántulas con macronutrientes y micronutrientes para que se desarrollen normalmente (Figura 3-17).

Se aplica inicialmente un compuesto rico en fósforo para favorecer el desarrollo radicular (p. ej., 10-52-10); esta aplicación se alterna (con intervalos de 8 días) con un fertilizante completo que contenga elementos mayores y menores. Si no se consigue en el mercado el fertilizante 10-52-10, puede sustituirse por la combinación del fertilizante 10-30-10 y el Agrimins. Se suspende la fertilización cuando el color de las plántulas sea el que se considera normal para la variedad de yuca a la que pertenecen.

Si se presentan síntomas puntuales de deficiencia de algún elemento, se puede dar a las plántulas afectadas una fertilización foliar que contenga fertilizantes simples o completos. Una de las deficiencias que suelen



presentar las plántulas en el primer mes es la de zinc, que se corrige adicionando el elemento al suelo en uno de los riegos; se disuelven, por tanto, 3 g de Zn en 1 litro de agua de riego y se aplican 10 cc de esta solución por planta.

Etapa 5. Separación de las plántulas

De 30 a 34 días DDT, las plantas de yuca necesitan más luminosidad y mayor temperatura para estimular su crecimiento y desarrollo. Por tanto se colocan las plantas más separadas en un área que sea el doble o el triple de la que ocupaban inicialmente (Figura 3-18).



Figura 3-16. Riego de las plántulas por microaspersión en la casa de malla.



Figura 3-17. Equipo y elementos para la fertilización completa de las plántulas cada 8 días del proceso de endurecimiento.



Figura 3-18. Las plantas se colocan separadas en un área más amplia para recibir más luz y mayor temperatura.



Etapa 6. Transplante en el campo

Las plantas permanecen en la casa de malla o en el invernadero durante un lapso de 70 a 90 días; transcurrido este tiempo son llevadas al campo.

Traslado

Al transportar las bolsas del invernadero (o de la casa de malla) al campo, es necesario proteger las plántulas de una corriente fuerte de aire que podría causarles abrasión o deshidratación (Figura 3-19).



Figura 3-19. Plántulas endurecidas en casa de malla o invernadero y listas para ser trasladadas al campo.

Adaptación y trasplante definitivo

Se recomienda reunir las en un grupo grande en el sitio elegido del campo durante 3 a 6 días para que se adapten al nuevo ambiente.

Pasado ese tiempo, las plántulas se trasplantan a sus sitios definitivos en el campo (Figura 3-20). El agricultor debe estar atento en los días siguientes para detectar la aparición de alguna deficiencia nutricional o la presencia de plagas o enfermedades, en cuyo caso aplicará el manejo integral que corresponda.



Figura 3-20. Trasplante en el sitio definitivo y adaptación paulatina de las plántulas al nuevo ambiente en el campo.



BIBLIOGRAFÍA

Asher CJ; Edwards DG; Howeler RH. 1980. Desórdenes nutricionales de la yuca. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 48 p.

Escobar HR. 1991. Estudio comparativo de dos métodos de propagación de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) in vitro. Tesis. Universidad Santiago de Cali, Cali, Colombia. 130 p.

Roca WM; Rodríguez JA; Mafla G; Roa J. 1984. Procedures for recovering cassava clones distributed in vitro. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 8 p.

Roca W; Mroginski LA. 1991. Cultivo de tejidos en la agricultura: Fundamentos y aplicaciones. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 970 p.



4. FERTILIZACIÓN DEL CULTIVO DE LA YUCA

Luis Fernando Cadavid*, Luis Miguel López**

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es una planta monoica que pertenece a la clase Dicotyledoneae, familia Euphorbiaceae, género *Manihot* y, es considerada planta de aprovechamiento integral ya que sus raíces y hojas son fuente de carbohidratos y proteínas. Las raíces son de gran utilidad en la alimentación humana (mercado fresco, croquetas, harina, almidón), animal (como complemento en los concentrados para aves, cerdos y rumiantes) y es empleada como materia prima en la industria de gran variedad de productos, entre los que se destacan el almidón industrial, la harina, el alcohol carburante, gomas, adhesivos y pegantes, dextrina, glucosa, sorbitol, acetona, manufactura de explosivos, colorantes y como floculante en minería.

La raíz de este cultivo es de los más eficientes productores de carbohidratos entre las plantas, según Rogers y Appan (1972), citados por Howeler (1981) convirtiéndose en la cuarta fuente energética en el mundo, después del arroz, la caña de azúcar y el maíz. Montaldo, citado por Solórzano (1975), reseña que un kilo de yuca contribuye con el 59% del total de calorías diarias que requiere un hombre adulto.

También, su follaje (lámina foliar, pecíolos y tallos frescos) tiene un alto valor nutricional, especialmente para la dieta de rumiantes, ya que su contenido proteico puede estar entre el 20-25%, similar al de la alfalfa.

La yuca es originaria de América Tropical, de aquí llegó al África y al Asia para convertirse en un renglón importante de la actividad agropecuaria para estos continentes (MADR, 1996). Hoy se siembra en 92 países donde alimenta a más de 500 millones de personas.

FAO (1997), reseña que los principales países productores de yuca son Nigeria (31.8%), Brasil (25.7%), Zaire (18%), Tailandia (16%) e Indonesia (15.4%). Según FAO (2005), la producción mundial de yuca, en ese mismo año, fue de 209.429.500 toneladas métricas.

Datos reportados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia – MADR (2005), indican que en Colombia, la producción ascendió a 2.0503.120 toneladas métricas, cultivadas en 182.071 hectáreas y con un rendimiento promedio de 11.3 t/ha, ocupando el tercer puesto en América Latina después de Brasil y Paraguay, y el puesto 16 en el mundo.

Los departamentos con mayor producción a 2004, en orden descendente, fueron: Bolívar, Córdoba, Sucre, Magdalena, Santander, Antioquia, Norte de Santander, Cesar, Arauca, Huila, Caquetá y Putumayo, con una superficie sembrada entre 6.000 y 29.000 hectáreas.

Al cultivo de la yuca en Colombia se le ha considerado siempre como cultivo de “subsistencia” y, generalmente, se siembra en suelos marginales, siendo escaso o nulo el empleo de tecnología o prácticas agronómicas adecuadas, como por ejemplo, el uso de la fertilización química (Cadavid, 1988a).

Según datos reportados por el MADR (1996), el cultivo se realiza en explotaciones menores de cinco hectáreas y, recientemente, comienzan a aparecer explotaciones de mediana extensión (25 a 50 hectáreas) o explotaciones mayores a 100 hectáreas, entre quienes se desarrollan experiencias para producir yuca de uso industrial. Es decir, se están produciendo transformaciones significativas en el carácter social del cultivo y, en este cambio de tendencia hacia un incremento de la producción, están influyendo varios factores, entre los

* Ingeniero Agrónomo, M. Sc. Suelos. E-mail: luisfernandocadavidlopez@yahoo.es

** Ingeniero Agrónomo. E-mail: llopezluism@hotmail.com



cuales el más importante es la nueva demanda por yuca encaminada hacia la producción industrial de alimentos balanceados para animales y el aumento de la producción de almidón de yuca (MADR, 1996), ya que, según el esquema anterior, la producción se dirigía fundamentalmente al mercado en fresco, en menor medida como almidón en forma artesanal y/o se procesaba mediante el picado y el secado natural para ser utilizado en la industria de concentrados.

Tabla 4-1. Superficie, producción y rendimiento de la yuca a escala nacional.

Año	Superficie (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
1992	181.256	1.650.961	9.1
1993	186.499	1.900.190	10.2
1994	189.603	1.794.611	9.5
1995	182.697	1.801.079	9.9
1996	198.472	2.019.748	10.2
1997	182.071	1.676.560	9.2
1998	177.029	1.598.166	9.0
1999	179.967	1.761.546	9.8
2000	179.348	1.792.382	10.0
2001	190.197	1.980.110	10.4
2002	172.124	1.779.250	10.4
2003	174.444	1.840.717	10.5
2004	176.811	1.943.098	11.0
2005	182.071	2.050.120	11.26

Fuente: Evaluaciones agropecuarias CIRPA'S, CIMATA'S. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-Dirección de Política Sectorial-Grupo Sistemas de información, 2005

En los últimos años, el cultivo de yuca en el país ha venido en descenso, pues se pasó de sembrar 186 mil hectáreas promedio anual en el periodo 1990-1999 a 181 mil hectáreas en promedio anual entre 2000-2009. Sólo las regiones Caribe y Orinoquía incrementaron su área sembrada, pasando de 87.310 y 9.467 hectáreas promedio anual, en el periodo 1990-1999, a 94.492 y 13.444 hectáreas promedio anual entre 2000 y 2009, ganando participación dentro del total nacional (Figura 4-1).

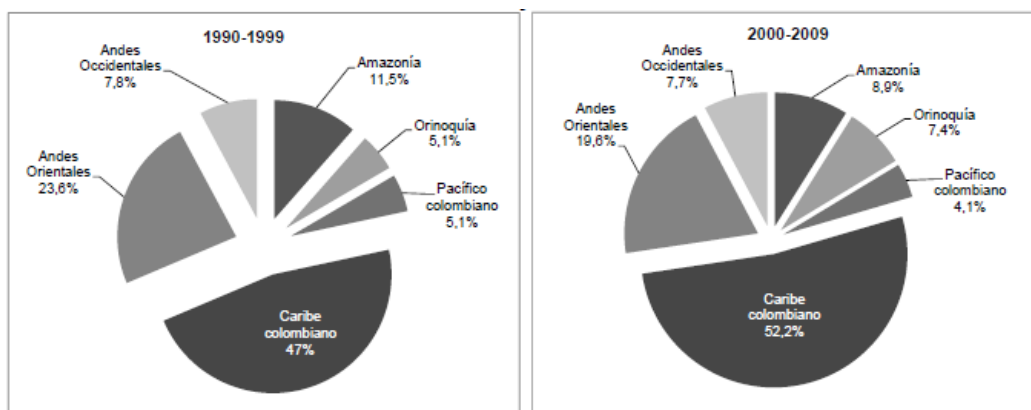


Figura 4-1. Distribución del área sembrada con yuca por regiones, 1990-1999 y 2000-2009.

Fuente: Cálculos con base en información del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural 8MADR, Análisis de Estadísticas, Agronet.



En el período 2000-2009, en Colombia los cultivos de yuca alcanzaron 181.092 hectáreas en promedio anual con un crecimiento de sólo 0,2% promedio anual. En la región Caribe se sembraron 94.492 hectáreas, con un incremento de 2,4% promedio anual. Como se puede observar en la Figura 4-2, cuatro departamentos de la región poseían más de 7.500 hectáreas cultivadas con yuca (Bolívar, Córdoba, Sucre y Magdalena) que aportaron el 4% del total de la región. Siendo estos tres departamentos los de mayor tradición en el cultivo de yuca en la región.

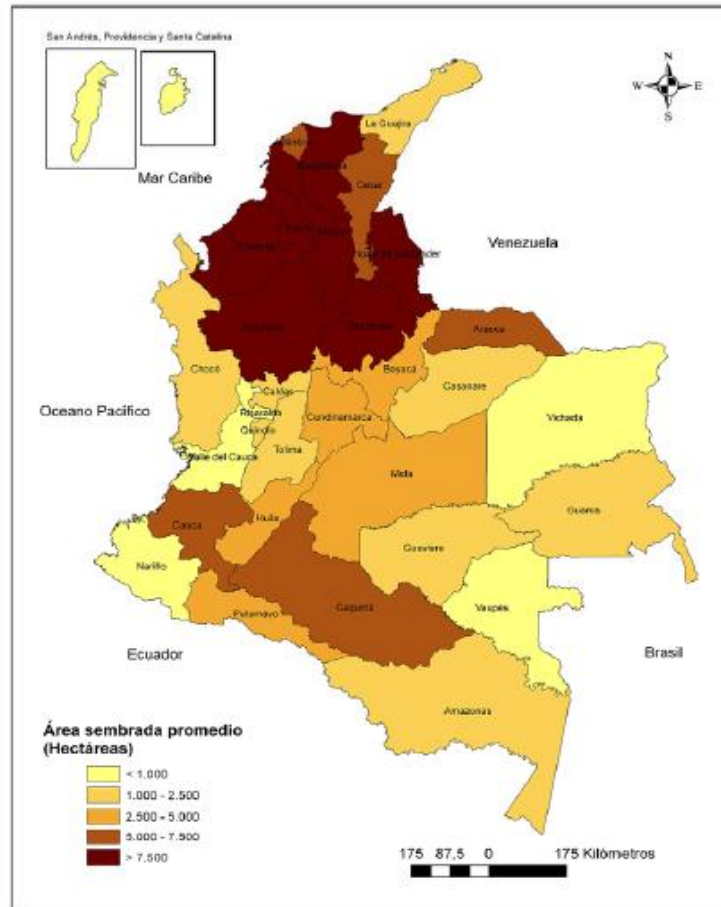


Figura 4-2. Área sembrada con yuca por Departamentos en Colombia, 2000-2009.
Fuente: *La Yuca en el Caribe Colombiano*. Aguilera 2012.

En la Figura 4-3 se observa el área sembrada con yuca en 2009, por municipios de seis de los ocho departamentos de la región Caribe³⁰. En nueve de ellos se registraron más de 2.000 hectáreas (has), perteneciendo cinco de ellos al Departamento de Bolívar: Carmen Bolívar (7.000 has), San Jacinto (3.500 has), San Juan Nepomuceno (3.200 has), Mahates (2.868 has) y Villanueva (2.200 has). En Córdoba se ubican dos: Ciénaga de Oro 7.400 has) y Sahagún (2.300 has). Los dos restantes son de Sucre: Ovejas (4.138 has) y Corozal (2.600 has). En conjunto estos nueve municipios aportan el 44% del área sembrada en los tres departamentos a los cuales pertenecen. En la zona de Ciénaga de Oro (Córdoba) y en la Unión (Sucre) se han encaminado a la siembra de yuca industrial para el secado y picado de yuca. Por su parte, en Ovejas, San Onofre (Sucre), San Jacinto y El Carmen de Bolívar (Bolívar) se siembra la yuca fresca para el consumo humano.

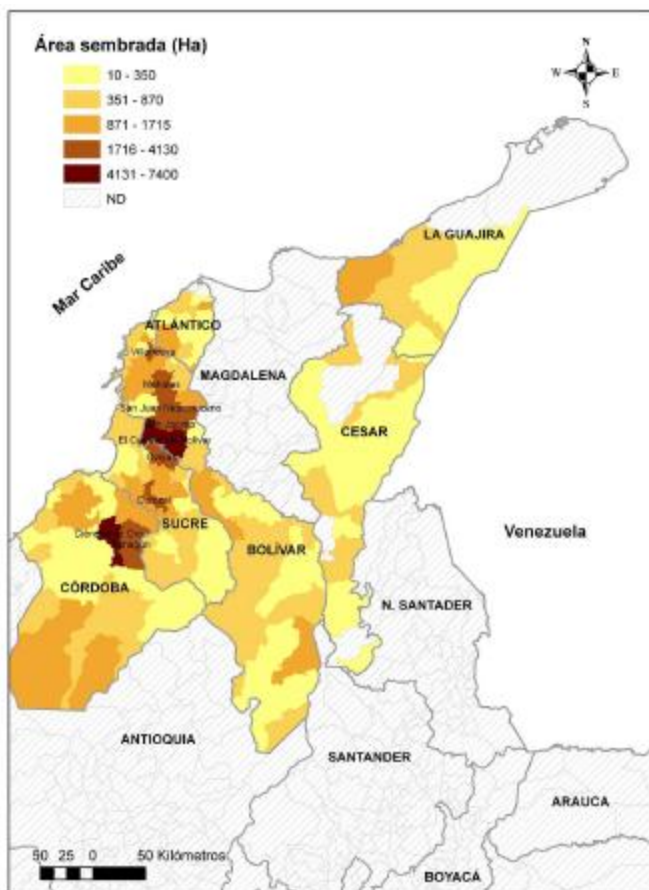


Figura 4-3. Área sembrada con yuca por municipios en Colombia, 2009.
Fuente: *La Yuca en el Caribe Colombiano*. Aguilera 2012.

Producción

En cuanto a la producción de yuca, en el período 2000-2009, en Colombia se cosecharon 1,9 millones de toneladas de yuca en promedio anual, con una tasa de crecimiento de 1,1%, que contrasta con el crecimiento que tuvo la importación de cereales (5%), productos que en su mayoría son utilizados como materia prima en la producción de concentrados de animales y que en una quinta parte pueden ser sustituidos por yuca seca.

En la Figura 4-4 se observa la distribución de la producción de yuca fresca por regiones observándose un mayor crecimiento en el Caribe y la Orinoquía que aumentaron su participación dentro del total producido en la primera década analizada.

Los Departamentos con mayor porcentaje en la región Caribe son: Bolívar y Córdoba que aportaron 15,5% y 9,7% de la producción total del país e incrementaron su producción en 4,1% y 9,8% (Figura 4-5).

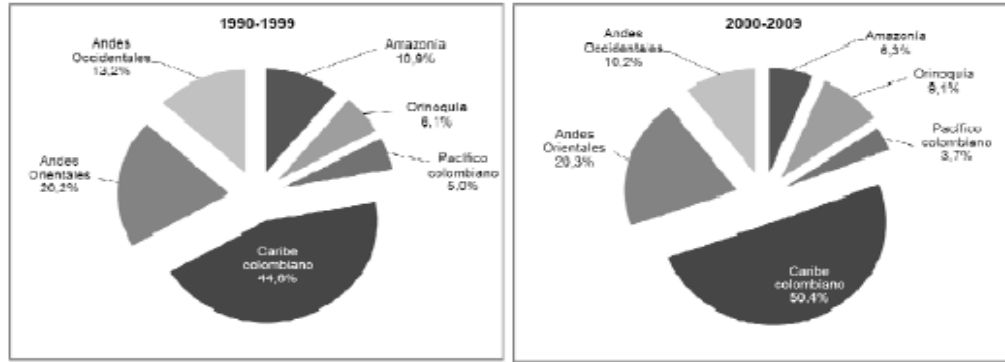


Figura 4-4. Distribución de la producción de yuca fresca por regiones, 2000-2009.
 Fuente: *La Yuca en el Caribe Colombiano*. Aguilera 2012.

La yuca industrial se produce mayoritariamente en el Departamento de Sucre en donde se cosecharon 81.417 toneladas en 2009, destacándose como los mayores productores los municipios de Corozal (22,1%), San Antonio de Palmito (14,1%), San Pedro (13,8%), Los Palmitos (8,3%), San Marcos (7,7%), Sampedú (6,6%) y San Juan de Betulia (6,1%). Estos siete municipios proveen el 78,8% de la yuca industrial en la región Caribe.

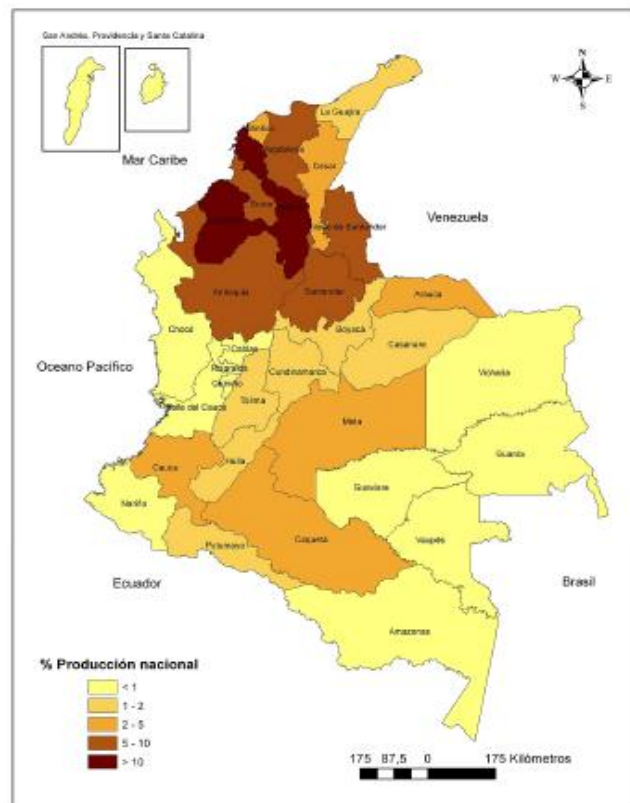


Figura 4-5. Producción de yuca en Colombia por Departamentos, 2000-2009.
 Fuente: *La Yuca en el Caribe Colombiano*. Aguilera 2012.

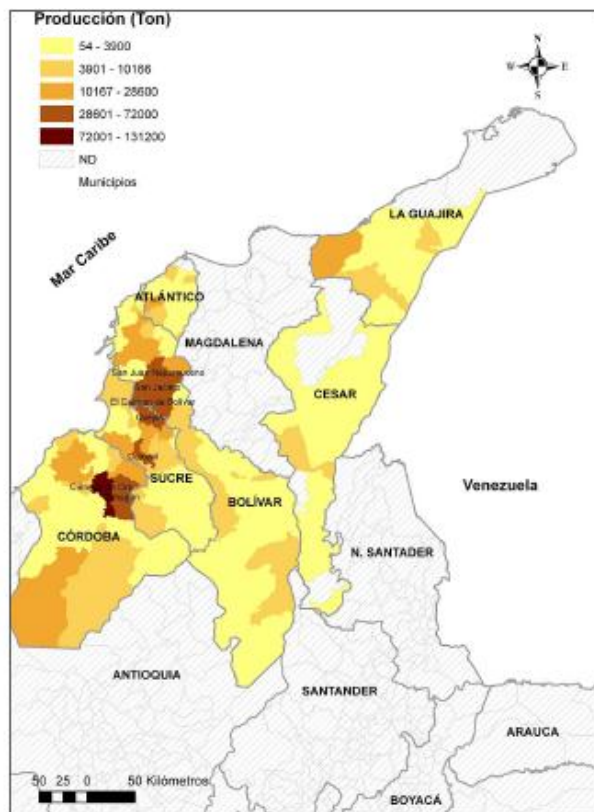


Figura 4-6. Producción de yuca en la región Caribe por municipios, 2009.
Fuente: *La Yuca en el Caribe Colombiano*. Aguilera 2012.

De acuerdo con los registros de las Secretarías de Agricultura de seis Departamentos de la región Caribe, en 2009, el 92% de la producción de yuca fue de doble propósito (para el mercado del consumo y para el industrial), siendo los mayores productores los municipios de Ciénaga de Oro que con sus 131.200 toneladas ocupa la primera posición, seguido de El Carmen de Bolívar (72.000 t), Ovejas (52.800 t), San Juan Nepomuceno (48.000 t), Sahagún (42.050 t), San Jacinto (42.000 t) y Corozal (36.277 t), entre otros.

Rendimiento

En el período 2000-2009, los cultivos de yuca en el mundo registraron un rendimiento promedio anual de 11,6 t/ha, registrándose los mayores rendimientos en la India (29,9 t/ha), Cook Islands (25,8 t/ha), Nigeria (22,1 t/ha), Suriname (21,2 t/ha) y Réunion (20,1 t/ha), según información de la FAO (Figura 4-8). Colombia en el mismo período registró un rendimiento de 10,5 t/ha, 1.1 puntos porcentuales por debajo de la media mundial, aunque en algunos Departamentos los rendimientos son mayores. Tal es el caso de Risaralda, Valle del Cauca, Norte de Santander, Quindío y Antioquia que superan las 14 t/ha.

Por su parte, la región Caribe presentó un rendimiento de 30 puntos básicos por debajo del promedio nacional, aunque los Departamentos de La Guajira y Córdoba superaron ese rendimiento con 14,2 t/ha y 12,1 t/ha (Figuras 4-7 y 4-8). Sin embargo, en la región Caribe se ha logrado rendimientos de 18 y más t/ha, como se muestra en la Figura 4-9, en los municipios: Albania y Dibulla, (29 t/ha), San Pedro (23 t/ha), Córdoba (20 t/ha), Sahagún, San Juan del Cesar, Villanueva y Ciénaga de Oro (18 t/ha).

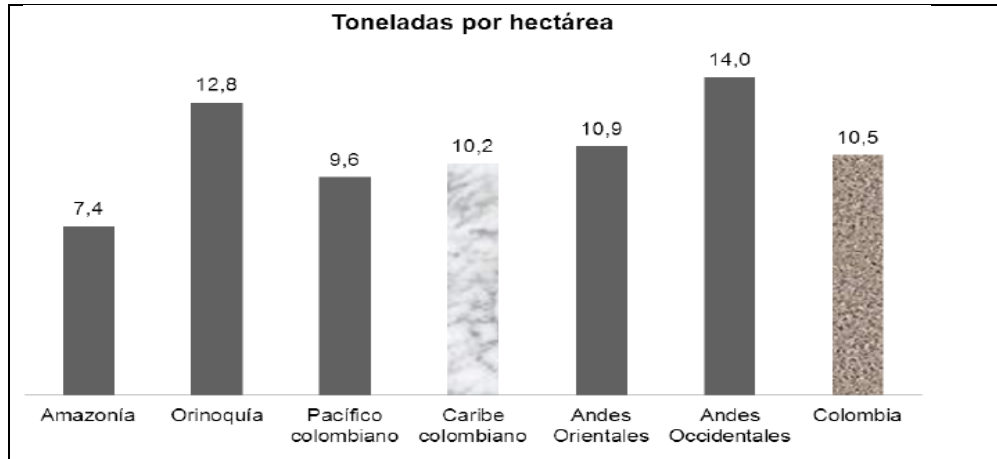


Figura 4-7. Rendimiento de los cultivos de yuca en las regiones de Colombia, 2000-2009.
Fuente: *La Yuca en el Caribe Colombiano*. Aguilera 2012.

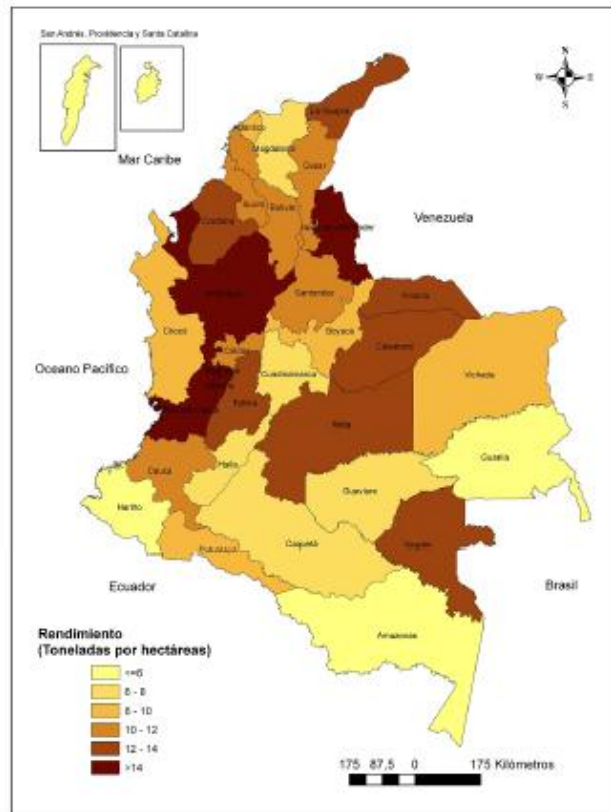


Figura 4-8. Rendimiento de la yuca en Colombia por Departamentos, 2000-2009.
Fuente: *La Yuca en el Caribe Colombiano*. Aguilera 2012.

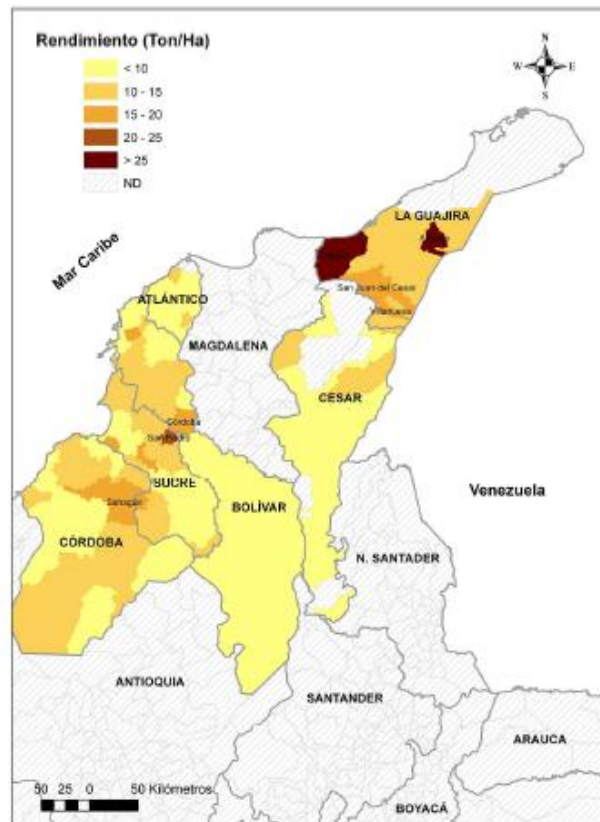


Figura 4-9. Rendimiento de la yuca en la región Caribe por municipios, 2009.

Fuente: *La Yuca en el Caribe Colombiano*. Aguilera 2012.

A pesar de ser un cultivo con alta respuesta al manejo, los rendimientos en la Costa Caribe son bajos. Esto puede deberse entre otros aspectos, a que los rendimientos de este cultivo están asociados a la variedad de la semilla o clones, al terreno y al tipo de siembra.

En Colombia se pueden producir 30 t/ha si se maneja bien el cultivo con acompañamiento de tecnología; sin embargo, en la región Caribe se sigue con las 10 t/has porque se cultiva de forma tradicional y no se le aplica abono a los terrenos.

En cuanto al terreno, los pequeños productores tienen poca tierra, por lo general, una o dos hectáreas, y para obtener la mejor rentabilidad en este cultivo se requieren mínimo cuatro o cinco hectáreas que permitan la rotación de cultivos y la aplicación de nutrientes.

En cuanto a las variedades unas resultan efectivas en zonas secas y otras en zonas húmedas. Las variedades más usadas en el Caribe colombiano para uso industrial son la Venezolana y la ICA-negríta que tienen mayor porcentaje de materia seca y, además, son de doble propósito.

Los sistemas tecnificados incluyen la preparación del terreno, la distancia en la siembra, las variedades que tengan el mayor rendimiento en cada zona y estudios de épocas de siembra, pues se puede sembrar en cualquier época del año. Los centros de investigación, como Corpoica, hacen el diagnóstico de la zona y con base en lo que los productores soliciten se hace el proyecto y se presenta al Ministerio de Agricultura u otro financiador. En lo que respecta a la tecnificación de los cultivos, se debe capacitar al pequeño productor para que cambie el sistema tradicional, dado que, según técnicos de Corpoica, “el productor de la región Caribe es

de bajo nivel escolar y reacio a la tecnología, mientras tienen la asistencia de los técnicos aplican la tecnología pero después la suspenden”.

Un buen rendimiento de la yuca en la región Caribe puede ser de 25 t/has, si se maneja un paquete tecnológico que incluya semilla de calidad, manejo de maleza, fertilización y variedades apropiadas. La región necesita fortalecer el programa de semillas limpias, pues la propagación de enfermedades es una limitante.

Para esto el CIAT y CLAYUCA están implementando en San Jacinto y Ovejas unos bancos locales de semilla de bajo costo. Además, los mismos centros de investigación están desarrollando variedades que tengan mayor porcentaje de materia seca y la pierdan poco con la entrada de las lluvias, es decir variedades que toleren humedad o encharcamiento. Así mismo, como es un producto que se puede producir en varios climas, aunque para cada uno hay variedades diferentes, se están ampliando las variedades para Caribe seco y Caribe húmedo y las que se adapten a los cambios climáticos.

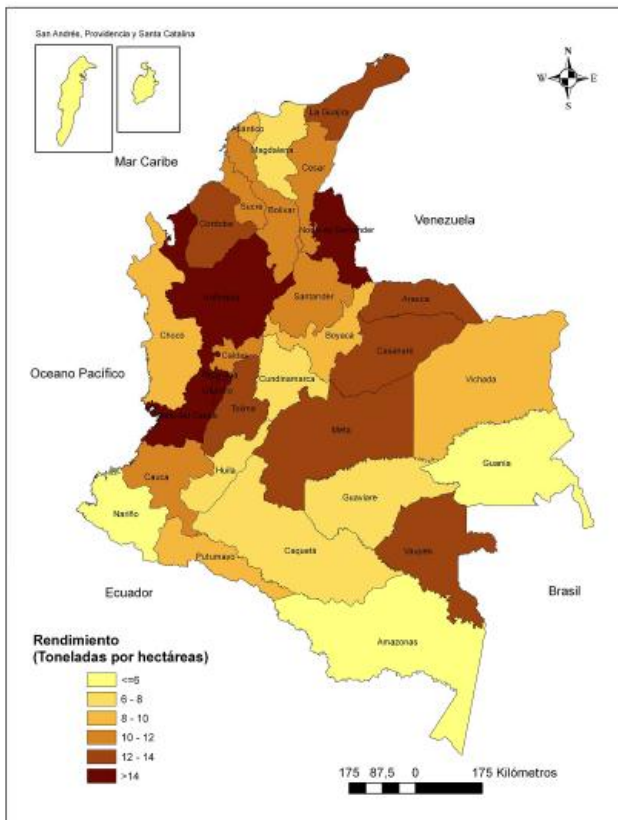


Figura 4-10. Rendimiento de la yuca en Colombia por Departamentos, 2009.

Fuente: Elaboración con información del Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Análisis de Estadísticas, Agronet.

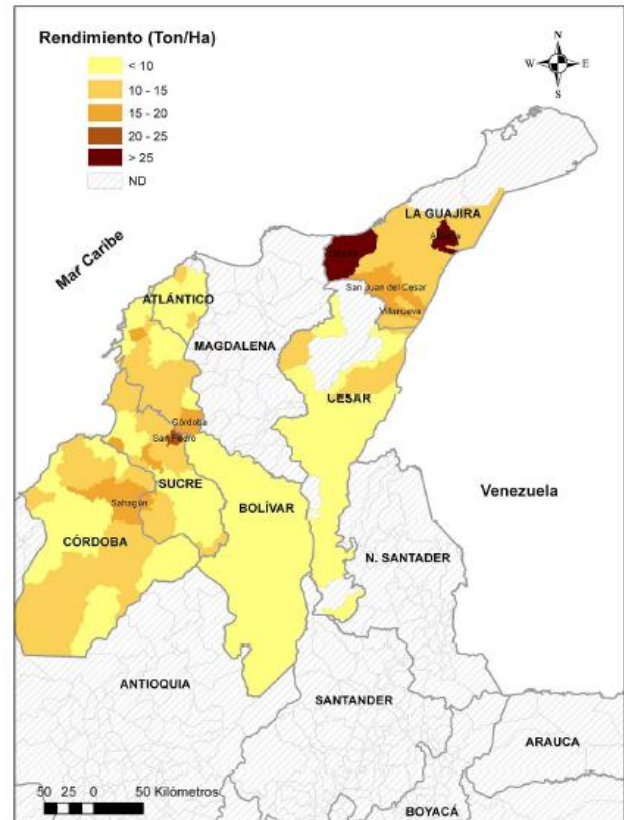


Figura 4-11. Rendimiento de la yuca en la región caribe por municipios, 2009.

Fuente: Elaboración con información del Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Informes Anuales.



Zonas productoras de yuca en Colombia

Características climatológicas

La Tabla 4-2 muestra las principales zonas agroecológicas del país en donde se siembra yuca. Se reseña una descripción general, departamentos productores y las principales variedades o cultivares regionales, promisorios y/o introducidos.

Tabla 2. Zonas agroecológicas productoras de yuca en Colombia.

Zona agroecológica	Descripción	Departamento	Cultivares	Usos
Zona 1	Clima tropical entre semiárido y subhúmedo. 0-300 msnm. Clima unimodal con estación seca prolongada. Temperatura > 24°C 700-1500 mm/año	Costa Atlántica: Atlántico, Bolívar, Cesar, Magdalena, Córdoba, Sucre	Mona Blanca Pie de Palomo Venezolana o MCol 2215 Verdecita o MCol 1505 ICA Negrita o CM 3306-4 ICA Costeña o CG 1141-1 M Tai 8 Verónica o CM 4919-1 Guinés o CM 4843-1 Corpoica Caribeña o SGB 765-2 Corpoica Rojita o SGB 765-4 Corpoica Colombiana o CM 3306-19 Corpoica Sucreña o CM 3555-6	Mesa Mesa Doble propósito Doble propósito Doble propósito Industrial Industrial Industrial Mesa Mesa Industrial Industrial
Zona 2	Sabanas de suelos ácidos. < 300 msnm. Clima unimodal con estación seca prolongada. Temperatura > 24°C Alta HR. 1500-4000 mm/año	Orinoquía: Meta, Casanare, Arauca	ICA Catumare o CM 523-7 Corpoica Reina o CM 6740-7 Brasilera o MCol 2737 ICA Cebucán o CM 2177-2 HMC-1 o ICA P13 Vergara o CM 6438-14 La Roja o CM 4574-7 Forrajera o CM 507-37	Doble propósito Doble propósito Doble propósito Doble propósito Doble propósito Industrial Industrial
Zona 3	Trópicos bajos. Estación seca leve y lluvias abundantes (> 3500 mm/año). < 300 msnm. HR alta y constante	Amazonia: Caquetá, Putumayo, Amazonas, Anden Pacifico	Brasilera o MCol 2737	Doble propósito
Zona 4	Trópicos de altitud media (800-1200 msnm). Temperatura 24-28°C Alta HR. 1000-2000 mm/año Clima bimodal	Valle del Cauca y Norte del Cauca	ICA Catumare o CM 523-7 HMC-1 o ICA P13 CMC 40 o MCol 1468 Verdecita o MCol 1505 MBra 12 MPer 183	Doble propósito Doble propósito Mesa Doble propósito Industrial Mesa
Zona 5	Tierras del trópico Alto. 1300-2000 msnm. Temperatura moderada a baja (20-24°C) 1500-2500 mm/año. Lluvia bien distribuida.	Zona Cafetera: Caldas, Quindío, Risaralda, Antioquia, Santanderes, Tolima, Cauca	Chiroza o MCol 2066 HMC-1 o ICA P13 Mper 183 Algodona o MCol 1522 Panameña o MCol 2261 Batata o MCol 2258 Sata Dovio o MCol 2059 Americana o MCol 2257	Mesa Doble propósito Mesa Mesa Doble propósito Doble propósito Doble propósito Doble propósito
Zona 6	Trópico entre semiárido y Subhúmedo. 100-1100 msnm. Clima bimodal. Temperatura > 24°C HR muy baja. 900-2300 mm/año	Valles del alto Magdalena: Tolima, Huila	Brasilera o MCol 2737 Catumare o CM 523-7 MBra 12 Verdecita o MCol 1505 MVen 25	Doble propósito Doble propósito Industrial Doble propósito Industrial

Contribución de Fernando Calle C., Programa de Yuca, CIAT. 2002.



En términos generales, es un cultivo de amplia adaptación, ya que se siembra en zonas desde el nivel del mar hasta los 2000 metros, temperatura entre 20-30°C con un óptimo de 24°C, humedad relativa entre 50 y 90% con un óptimo de 72%, precipitación anual entre 600 y 3000 mm o más con un óptimo de 1000 a 1800 mm/año. Es muy resistente a condiciones de sequía, especialmente en regiones con distribución modal y con veranos prolongados (Costa Atlántica, Llanos Orientales).

El cultivo posee mecanismos fisiológicos de adaptación para resistir períodos largos de estrés de agua: disminución de lámina foliar y lóbulos, cierre de estomas, disminución de la transpiración, disminución en la absorción de nutrimentos, su sistema radical fibroso profundiza hasta más de 2 metros en busca de agua y la toma eficientemente (Cadavid, 1988a; El-Sharkawy, 1998).

La Tabla 4-3 muestra un ejemplo de resistencia de la yuca al estrés hídrico en suelos de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia.

Tabla 4-3. Respuesta de la yuca al estrés de agua (estrés de 2 a 6 meses después de siembra) en un suelo arcilloso¹ de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia. Cosecha a los 2, 4, 6, 8 y 12 meses después de siembra (1991/1993).

Cultivar	Estrés de agua ^a	1991 / 1992					1992 / 1993				
		2	4 ^b	6 ^b	8	12	2	4 ^b	6 ^b	8	12
Rendimiento raíces (peso seco t/ha)											
CM 507 – 37	-	0.01	1.4	6.8	12.1	16.2	0.01	1.0	5.6	8.7	12.0
CM 507 – 37	+	0.01	1.7	4.1	8.0	12.0	0.01	0.9	2.4	4.8	10.1
CM 523 – 7	-	0.01	1.6	7.0	10.9	14.4	0.01	1.4	6.7	10.0	13.1
CM 523 – 7	+	0.01	1.0	4.3	7.8	13.8	1.01	0.6	1.7	4.2	11.7
CMC 40	-	0.01	2.2	8.6	9.0	10.0	0.01	2.1	6.5	7.7	9.8
CMC 40	+	0.01	1.7	4.7	8.3	12.2	0.01	1.4	2.3	4.8	8.6
M Col 1684	-	0.02	1.5	7.9	12.7	14.3	0.01	1.2	5.5	9.4	12.9
M Col 1684	+	0.01	1.9	4.7	8.6	11.7	0.01	0.9	2.7	5.5	8.8
LSD 5% (Duncan)		0.01	0.4	1.3	2.3	2.2	NS	0.3	0.9	1.1	2.9

¹ Suelo con presencia de arcilla caolinítica

^a - Sin estrés

+ Con estrés (estrés inducido)

^b Cosechas durante el estrés

Fuente: El-Sharkawy et al., 1998

Características de los suelos destinados a la siembra de yuca en Colombia

La yuca se cultiva usualmente en suelos de los órdenes Oxisol, Ultisol, Inceptisol, Entisoles arenosos y en menor grado en Alfisoles, Vertisoles y Mollisoles.

Es un cultivo que se adapta a condiciones de suelos infértiles, en donde otros cultivos no prosperan y, por lo general, un alto porcentaje de los suelos dedicados a este cultivo en Colombia presentan muy bajos contenidos de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Mn convirtiéndose en un limitante para el desarrollo, crecimiento y buenos rendimientos.

La Tabla 4-4 reseña algunas características químicas y físicas de suelos en donde se siembra yuca en Colombia.



Material de siembra (semilla vegetativa)

Según Howeler y Cadavid (1983), Cadavid (1988a), López (1994), se tienen indicios de que la baja fertilidad y aún niveles medios a altos de sales en los suelos son algunos de los factores edáficos que reducen el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas de yuca e inciden sobre la cantidad y la calidad del material de siembra y la capacidad del cultivo para expresar su potencial genético.

También, algunos factores físicos del suelo como falta de agregación, pérdida de la estructura, compactación y sellamientos superficiales están influyendo negativamente en este aspecto, debido al mal uso e inadecuado manejo que se le ha dado a los suelos dedicados a este cultivo (Cadavid, 2002a).

La cantidad y la calidad del material de siembra está en función de un conjunto de factores como: vigor de la variedad, tipo de planta, porción del tallo dentro la planta, número de tallos por planta, hábito de crecimiento y ramificación, sistemas de cultivo, edad de la planta, fertilidad del suelo, si se fertiliza o no se fertiliza, competencia de malezas, condiciones climatológicas y contenido de nutrimentos de la estaca madre (López, 1994; López y El-sharkawy, 1995).

Una semilla o cangre de excelente calidad (que incluye un adecuado nivel nutricional) es, entre las prácticas de cultivo susceptibles de mejorar, un componente técnico lógico que permitiría a los agricultores aumentar la producción del cultivo (López, 1994).

Las Tablas 4-5 y 4-6 reseñadas por López y El-Sharkawy (1995), muestran la concentración, el contenido y el efecto del estado nutricional de la estaca madre sobre la subsiguiente cosecha y producción con el cultivar MCol 1684 en suelos arcillosos de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia.

La Figura 4-11 muestra el efecto del abonamiento sobre el material de siembra y plantas subsiguientes.

Tabla 4-4. Características químicas y físicas de algunos suelos dedicados a la siembra de yuca en Colombia.

Sitio	Departamento	pH 1:1	M.O. %	(meq/g suelo)						ppm					Textura Bouyoucos	Da (g/cm ³)
				Al	Na	Ca	Mg	K	P	S	B	Mn	Zn			
Malambo	Atlántico	6.2	0.6	—	0.17	1.67	1.00	0.06	4.2	—	—	—	—	A	—	
Santo Tomás	Atlántico	5.8	1.5	—	—	1.43	0.41	0.11	3.1	—	—	—	—	A	1.48	
Media Luna	Magdalena	6.1	0.2	—	0.13	0.87	0.28	0.05	8.3	—	—	—	—	A	1.50	
Los Palmitos	Sucre	7.1	1.2	—	0.60	13.10	9.60	0.10	10.1	—	—	—	—	A	1.46	
Ayapel	Córdoba	4.8	2.8	2.20	—	0.30	0.20	0.05	3.0	—	0.20	—	1.00	ArA	1.30	
Villavicencio	Meta	4.7	4.6	2.86	—	0.49	0.17	0.13	11.8	—	—	—	0.30	Ar	1.30	
Puerto Gaitán	Meta	4.1	3.7	3.60	—	0.75	0.28	0.11	2.0	—	—	—	—	Ar	—	
Agua Azul	Casanare	5.5	0.8	0.09	1.09	3.76	1.21	0.46	47.0	15.0	0.03	41.0	6.60	FA	—	
Yopal	Casanare	4.5	1.9	3.70	0.10	1.40	0.90	0.20	97.0	1.50	0.10	—	4.90	F	—	
Paz de Ariporo	Casanare	4.7	0.9	1.40	0.10	0.18	0.06	0.10	3.5	—	—	0.86	0.26	FA	1.50	
Ortega	Tolima	7.4	1.4	—	0.23	19.90	4.10	0.56	44.9	—	—	52.6	0.70	FA	1.50	
Purificación	Tolima	6.8	0.5	—	0.17	11.30	3.90	0.42	40.9	—	—	37.3	2.30	FA	1.50	
Espinal	Tolima	6.0	0.3	—	0.33	4.50	1.10	0.17	23.3	—	—	—	—	FA	1.40	
Candelaria	Valle	6.9	1.4	—	0.46	11.30	4.02	0.39	83.0	—	—	—	—	FArA	1.35	
Palmira	Valle	7.2	2.2	—	0.26	12.62	8.36	0.77	53.5	0.33	0.75	4.69	4.83	ArL	1.60	
Buga	Valle	6.3	1.4	—	0.22	8.33	5.56	0.11	40.2	42.0	0.35	—	4.08	FAr	1.58	
Caicedonia	Valle	5.5	2.6	0.21	—	5.42	0.74	0.38	49.8	48.2	0.39	—	9.47	FArA	1.35	
Jamundí	Valle	4.7	6.0	1.59	—	3.24	0.71	0.39	6.3	127.4	0.49	—	3.20	Ar	1.10	
Santander de Quilichao	Cauca	4.3	8.1	2.73	—	1.95	0.82	0.22	10.5	—	0.46	—	2.40	Ar	1.00	
Mondomo	Cauca	4.5	7.2	5.70	—	0.79	0.30	0.23	1.76	—	—	—	—	Ar	0.87	
Pescador	Cauca	4.6	8.5	3.10	—	0.47	0.15	0.11	1.20	—	—	—	—	Ar	0.90	
Caloto	Cauca	5.7	10.4	—	—	21.90	12.00	0.20	3.00	—	—	—	—	Ar	—	
Armenia	Quindío	5.8	1.6	0.15	0.22	4.63	0.86	0.49	21.00	7.00	0.04	0.18	5.80	FA	1.40	
Barragán	Quindío	5.6	2.9	0.18	0.10	4.50	1.40	0.45	36.00	9.00	0.01	—	16.00	FL	1.20	
Montenegro	Quindío	5.5	2.1	0.08	0.28	3.17	0.86	0.83	30.00	8.0	0.10	0.25	7.00	FA	1.43	
El Zulia	Nte. de Santander	6.9	2.7	—	—	4.20	1.40	0.32	15.00	—	—	—	4.50	FArA	1.50	
San Cayetano	Nte. de Santander	5.2	1.9	0.20	—	1.30	0.60	0.14	2.00	—	—	—	14.80	ArA	—	
Sardinata	Nte. de Santander	5.1	1.8	0.40	—	0.90	0.40	0.08	18.00	—	—	36.2	0.10	FAr	1.35	
B/bermeja	Santander	4.8	2.4	1.47	—	1.25	0.37	0.06	2.80	—	0.20	2.60	0.40	FArA	1.34	
Sabana de Torres	Santander	4.7	0.9	1.5	0.44	1.17	0.25	0.05	3.00	—	—	—	—	FA	—	

Fuente: Ampliada de Cadavid, 2002a



Tabla 4-5. Concentración y contenido de N, P, K de las estacas de yuca según el nivel de fertilización del suelo en que se obtuvieron.

Origen del material de siembra			Concentración ^a g/kg (peso seco)			Contenido ^a mg/estaca		
N	P	K	N	P	K	N	P	K
0	0	0	6.4 b	0.9 a	1.7 b	70c	10 a	19 b
0	100	100	6.1 b	1.7 a	4.3 a	76 c	21 a	54 a
100	0	100	9.4 a	0.9 a	5.6 a	146 a	14 a	87 a
100	100	0	8.5 a	1.5 a	2.0 b	117 b	21 a	28 b
100	100	100	8.4 a	1.5 a	4.4 a	139 a	25 a	72 a

^a Cantidades seguidas por letras iguales no difieren entre sí significativamente, según prueba de Duncan (0.05%)

Fuente: López y El-Sharkawy, 1995

Tabla 4-6. Efecto del estado nutricional de las estacas de yuca sobre el cultivo subsiguiente (cultivar MCol 1684) en un suelo arcilloso de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia.

Origen del material de siembra (kg/ha)			Suelo de la plantación			
			Sin fertilización (peso fresco t/ha)		Con fertilización (peso fresco t/ha) ^a	
N	P	K	Tallos	Raíces	Tallos	Raíces
0	0	0	2.02	13.47	4.49	19/05
0	100	100	2.63	17.45	3.64	24.65
100	0	100	2.98	14.91	4.38	23.51
100	100	0	2.25	15.79	4.53	24.71
100	100	100	3.10	24.16	6.22	30.17
Promedio			2.60	17.16	4.65	24.42

LSD (Tukey) por comparación entre tratamientos del cultivo subsiguiente

0.33 2.15

LSD (Tukey) por comparación entre los tratamientos del material de origen

0.52 4.15 1.46 4.2

^a Aplicación de abono 50-43-83 kg/ha de N, P, K, respectivamente con 10-20-20 treinta días después de siembra en banda sencilla.

Fuente: Adaptada de López y El-Sharkawy, 1995



Figura 4-11. Efecto del abonamiento sobre el material de siembra y plantas subsiguientes.

Fuente: Cadavid, archivo personal.

Tabla 4-7. Características químicas y físicas de algunos suelos dedicados al cultivo de la yuca en la Región Caribe.

MUNICIPIO	Ph	CE	CIC Efec.	M.O	DA	BASES				MENORES				% Saturación								
						T	P	K	Ca	Mg	Na	Al	S	Zn	B	Fe	Cu	Mn	Na	k	Ca	Mg
C.de Oro	6.33-LA	0.29	1.93	0.86	1.37	A	15.66	0.02	1.48	0.39	0.04	0.0	9.84	1.94	0.21	38.83	2.34	48.85	2.07	1.04	76.68	20.21
C: de Oro	6.16-LA	0.20	2.73	1.64	1.25	A	8.55	0.00	2.00	0.67	0.06	0.0	13.88	2.44	0.34	84.28	2.44	34.91	2.20	0.00	73.26	24.54
Planeta Rica	5.07MFA		2.1	1.19		FA	2.5	0.10	1.5	0.2	0.09	0.22	4.8	0.5	0.24	43.2	0.1	3	4.3	4.8	71.4	9.5
Corozal	6.01LGA	0.29	24.26	2.8		FRAr	7.2	0.26	17.8	5.9	0.3		9.6	39	0.08	12	0.9	56	1.24	1.07	73.4	
Palmito	5.26-FA	0.36	12.96	0.86		FRAr	1.2	0.2	7.7	4.29	0.74	0.03	7.2	2.7	0.28	47	1.8	33	5.71	1.54	59.4	33.1
San Pedro	5.86-FA	18.2	19.01	1		FRAr	29.4	0.23	13.2	5.1	0.48		31.9	2		9.2	0.4	18	1	1	78	20
Momil	5.36-FA	0.42	8.17	1.9		FRAr	2	0.09	5.1	2.6	0.32	0.06	9.2	2.2	0.06	140	2.4	7.4	0.32	0.09	62.4	31.8
Plato	5.56MDA		28.5	1.14		Ar	6.2	0.26	17	10	1.19		12.2	6.2	0.66	39.8	0.8	36.6	4.2	0.9	59.6	35.1
Pivijay	6.54-N	0.37	2.24	2.3	1.4	A	16.47	0.15	1.68	0.40	0.01		11.33	4.04	0.21	20.46	1.05	26.60	0.48	0.01	80.38	19.14
Nva. Granada	5.9 MDA	0.46	35.7	0.85		Far	7.8	0.26	21.2	12.5	1.71		26.4	7.6	0.22	34.4	0.1	15.6	4.8	0.7	59.4	35

LA:Ligeramente Acido, MFA: Muy Fuertemente Acido, LGA: Ligeramente Acido, MDA: Moderadamente Acido, N:Neutro,FA: Fuertemente Acido.
 Rojo: Nivel Bajo, Verde: Nivel Medio, Amarillo: Nivel Alto, Azul: Rango Optimo, Naranja: Estado alerta.
 Fuente. López LM, 2015



En suelos de la Costa Atlántica dedicados actualmente al cultivo de la yuca industrial, se observan como características principales texturas arenosas a franco-arenosas en los municipios de Sahagun, Chinú y Ciénaga de Oro en Córdoba; y Malambo en el Atlántico.

Texturas A y FRAr en municipios de Sucre como San Marcos, Sampués, San Pedro, Buenavista y La Unión.



Figura 4-12. Suelos Arenosos en Chinú, Córdoba
Fuente: López LM (archivo personal)

Valores de pH mediana a fuertemente ácidos en las zonas de sabanas de Sucre y Córdoba; Materia Orgánica baja, no salinos, bajos en Fósforo y Potasio, altos en bases calcio y Magnesio, medianos contenidos de Sodio, bajo aluminio, y elementos menores en valores medios a bajos sobre todo Boro y Zinc.

Los contenidos de Fósforo (desde 2 a 15 ppm); bajos a medios valores de los niveles críticos para el cultivo; Azufre en niveles medios a bajos, desde 7 a 31 ppm.

Contenidos medios a bajos de Potasio (0.2 meq/100 g de suelo en promedio) y Saturaciones de bases con Potasio (1-2%), por debajo de rangos óptimos para el cultivo de yuca industrial. Sin embargo, presentan saturaciones de Magnesio y Calcio por encima de los rangos óptimos para el cultivo. En las relaciones de bases se observa marcada deficiencia de Potasio y en muy pocos casos deficiencias de Mg y Ca, observándose esta característica hacia los municipios de Ciénaga de Oro y Planeta Rica.

En cuanto al Sodio se observan algunos predios en sabanas de Sucre con saturaciones altas a tener en cuenta dado los valores de 0.28 a 3 meq/100 g, que pueden inhibir la nutrición balanceada. Casos de valores muy altos de 5.7 en zonas muy localizadas en los predios de Sucre caracterizados como calvas con concreciones de color crema a blanco en la cima y faldas de las pendientes.

En algunos de estos sitios igualmente se encuentran valores muy altos de pH de 8.5; con valores excesivos de Fósforo (97.7 ppm), Calcio (17 meq/100 g) y Magnesio (28 meq/100 g) dando lugar a compuestos insolubles.



Figura 4-13. Suelos de Sucre, Córdoba y Bolívar.

Fuente: López LM (archivo personal).

Deficiencias de todos los elementos menores en especial los más sensibles en la yuca industrial como son el Zinc y el Cobre.

De acuerdo con lo anterior, y teniendo en cuenta las texturas livianas de estos suelos, tenemos predisposición a la lixiviación y fijación de nutrimentos, igualmente limitaciones en la disponibilidad de elementos de alta extracción por el cultivo como el Potasio, Nitrógeno y Fósforo.

Por lo anterior, cobra especial importancia el tema del balance de nutrientes, épocas, cantidad, forma, localización y fuente nutriente, en términos de una buena relación entre la extracción-remoción y niveles críticos de suficiencia que ya tiene el cultivo de la yuca industrial.



Figura 4-14. Lote yuca Corozal, Sucre. Siembras en caballón.

Fuente: López LM (archivo personal).



Figura 4-15. Suelos Arenosos y Franco Arenosos Cienaga de Oro, Córdoba.
Fuente: López LM (archivo personal).

Materia Orgánica baja (1-2%), Acidez muy fuerte a moderada (pH 4.7 a 6) que incide en una moderada solubilidad del Fósforo y niveles de Aluminio 0.2 a 0.4 (tolerables por el cultivo).



Figura 4-16. Desarrollo de las plantas en calvas sectorizadas (San Pedro, Sucre).
Fuente: López LM (archivo personal).

Solo el 5% del área fertiliza con algún nivel técnico, y son agricultores grandes y empresas de almidón que suman alrededor de 2.000 has. Los rendimientos promedios obtenidos con planes de fertilización teniendo en cuenta análisis de suelos, requerimientos, extracción y niveles críticos del cultivo están entre 23 y 30 t/ha.



Aspectos generales sobre la nutrición del cultivo de la yuca

Fisiología y etapas fenológicas del cultivo

Cuando el cultivo se establece, basándose en un material de siembra de óptima calidad y otras prácticas agronómicas, es importante tener conocimiento detallado de las etapas de desarrollo y crecimiento (fases fenológicas) para tener mayor claridad de los estados críticos del cultivo y realizar dentro de ellos las labores agrícolas pertinentes y oportunas.

El cultivo de la yuca lo podemos conocer y manejar desde dos puntos de vista. El primero, la raíz y el segundo, la parte aérea de la planta.

La raíz en el cultivo de la yuca

El sistema radical de la planta de yuca es poco denso pero penetra varios metros en el suelo, lo que le da a la planta capacidad para resistir períodos largos de sequía.

Cuando la planta proviene de material vegetativo (estaca o cangre), las raíces son adventicias y, al desarrollarse forman un sistema fibroso. Estas son pocas y se convierten en la base para absorber agua y nutrimentos del suelo. Estas raíces, no son muy eficientes durante los primeros estados de desarrollo (primer mes) en la toma de nutrimentos (ya sean del suelo y/o del suelo y fertilizantes aplicados a la siembra), pero son muy eficientes en la toma de agua a medida que el cultivo crece y se desarrolla.

El sistema fibroso de la planta de yuca tiene una relación directa con la fertilización, ya que en promedio, durante los primeros 30 días, dependiendo del cultivar, la planta se encuentra en una **etapa de enraizamiento** y en este período las raíces se están desarrollando pero no ejercen función absorbente de nutrimentos. La nueva plántula se nutre exclusivamente de las reservas nutricionales de la estaca madre. De ahí la importancia del origen de este material.

La eficiencia de la fertilización se da en función de este factor y, las pérdidas de nutrimentos disminuyen cuando se fertiliza después del primer mes de sembrado, en el caso de aplicar fertilizantes de alta solubilidad en agua. Con fertilizantes menos solubles o de poca solubilidad no hay problema, e inclusive es mejor aplicarlos al voleo e incorporar antes de siembra. La Figura 4-17 muestra el sistema radical de plantas de yuca antes de los 30 días después de siembra.



Figura 4-17. Sistema radical de plantas de yuca (25 a 30 días después de siembra)

Fuente: Cadavid, archivo CLAYUCA.



Algunas raíces fibrosas, posteriormente inician su engrosamiento y se convierten en raíces tuberosas o de acumulación.

En promedio, y según el cultivar (generalmente para plantas cosechadas entre los 10 y 12 meses), comienza en esta etapa tres fases de diferenciación de las raíces tuberosas. La Figura 4-18 muestra todas las etapas del ciclo de desarrollo y crecimiento del cultivo de la yuca para cultivares cosechados entre los 10 y 12 meses después de siembra.

Fase de tuberización

Inicia desde los 30 a 45 días hasta el tercer o cuarto mes después de siembra. Es una fase de gran relevancia porque aquí se determina cuántas raíces tuberosas tendrá el cultivo y cuántas entran a la fase de engrosamiento.

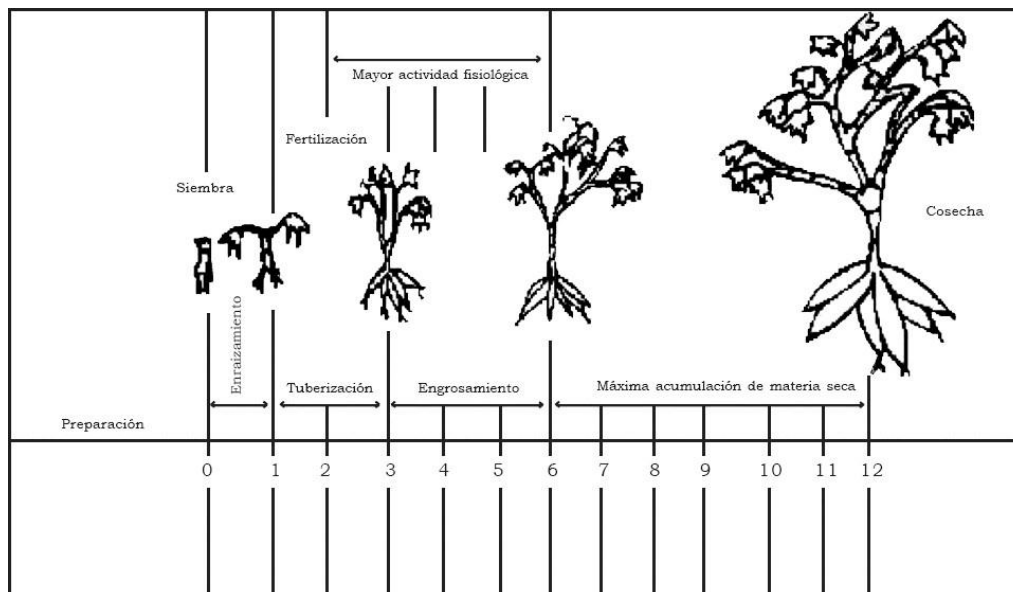


Figura 4-18. Ciclo fenológico de la yuca (plantas cosechadas entre los 10 y 12 meses)

Fase de engrosamiento

Inicia desde el tercer o cuarto mes después de siembra y se prolonga hasta el quinto o sexto mes. Es importante resaltar que desde la fase de tuberización las raíces comienzan a acumular materia seca (MS) y almidón (productos de la fotosíntesis), pero es en la siguiente fase donde se desarrolla este potencial.

Fase de acumulación

Comienza desde el quinto o sexto mes hasta el final del ciclo del cultivo. Fase de vital importancia para la planta. Cualquier alteración de la parte aérea durante este período afecta el contenido de materia seca y el rendimiento final sobre la base de peso seco, por ejemplo, ataque de gusano cachón (*Erinnyis ello* L.) con defoliación mayor del 80%.



Parte aérea del cultivo de la yuca

Fase de establecimiento

Depende de la preparación del terreno y de la calidad del material de siembra, como también del contenido de agua del suelo. Es una etapa que va desde la siembra hasta los dos primeros meses. Entre los 30 y 90 días se debe realizar la práctica de fertilización dependiendo del tipo de suelo (previo análisis). Esta es una labor agrícola de suma importancia y la base del buen desarrollo y crecimiento del cultivo.

Fase de máxima actividad fisiológica

Esta fase va entre el segundo y quinto mes después de siembra y es de las más importantes durante el ciclo del cultivo. La concentración de la mayor parte de los nutrientes absorbidos (vía solución del suelo o fertilizantes) aumenta en las hojas, especialmente en las superiores. Este aumento progresivo va hasta el quinto mes y comienza a disminuir a partir de allí. Por ello, la recomendación de un muestreo foliar debe realizarse entre el tercer y cuarto mes después de siembra.

En la parte aérea, esencialmente en las láminas foliares superiores completamente expandidas es en donde comienza el proceso de elaboración de asimilados o compuestos orgánicos que, vía floema (redistribución), se acumulan en órganos de almacenamiento como las raíces tuberosas y cuyo producto final es el almidón. Cualquier alteración en esta etapa reduce la actividad fotosintética de la planta y, por ende, el producto final. Es una etapa del ciclo en donde se deben tener los mayores cuidados fitosanitarios (control eficiente de plagas y enfermedades).

Fase de maduración

Es la etapa final del ciclo del cultivo y en donde, en algunos cultivares, por lo menos se ha producido el 50% o más de acumulación de materia seca. Es una etapa que puede ir entre siete y ocho meses hasta el final del ciclo del cultivo para cultivares cosechados entre los 10 y 12 meses y según las condiciones climatológicas de la región.

En esta fase se incluye un aspecto muy importante del cultivo (descuidado en la mayoría de los casos), y es el de las láminas foliares y pecíolos caídos. Según el cultivar, estos órganos comienzan a caer después del cuarto mes hasta el final del ciclo del cultivo. Constituyen la base para el aporte de materia orgánica al suelo y reciclaje de nutrimentos (Tabla 4-8).

Tabla 4-8. Producción de materia seca (t/ha) en hojas caídas (acumulado) y en la cosecha y el contenido de nutrimentos (kg/ha) en hojas caídas (acumulado) y en la cosecha del cultivar CM 523-7 en un suelo de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia.

	Contenido de nutrimentos (kg/ha)						Materia seca (t/ha)
	N	P	K	Ca	Mg	S	
Hojas caídas *	56.0	4.5	19.0	63.0	19.0	5.5	4.0
Hojas cosechadas	7.0	0.5	3.0	2.0	1.0	0.5	0.2
Total reciclaje	63.0	5.0	22.0	65.0	20.0	6.0	4.2

Hoja: Lámina foliar + pecíolo

Fuente: Cadavid, 1988a



Producción de materia seca y absorción de nutrimentos

Acumulación de materia seca a través del ciclo del cultivo

La Figura 4-19 muestra la acumulación de materia seca del cultivar de yuca CM 523-7 (ICA Catumare) en un suelo de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia.

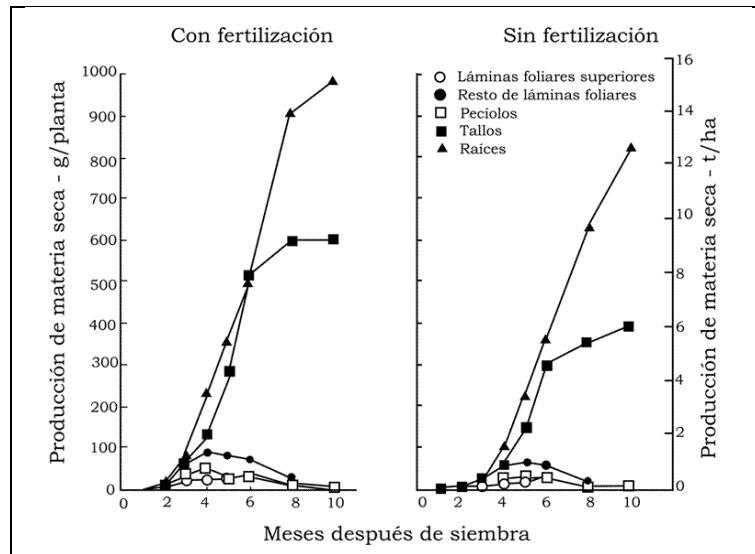


Figura 4-19. Acumulación de materia seca del cultivar ICA Catumare durante un ciclo de 10 meses en suelos de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia.

Fuente: Cadavid, 1988a

La acumulación es constante durante todo el ciclo de crecimiento, las plantas acumulan muy poco peso durante los dos primeros meses. A partir del segundo mes, el incremento es mayor y a una tasa constante hasta el octavo mes. Después, el ritmo de acumulación es lento hasta el final del ciclo del cultivo (Cadavid, 1988a). Según varios autores (Solorzano, 1975; Nijholt, citado por Howeler, 1981; Howeler y Cadavid, 1983; Cadavid, 1988a), la acumulación disminuye después de los seis meses en las hojas (lámina foliar y pecíolo), pero continua en los tallos y en las raíces tuberosas.

La tasa de acumulación para plantas sin fertilizar y fertilizadas es similar (Solorzano, 1975; Howeler y Cadavid, 1983; Cadavid, 1988a), aunque las plantas fertilizadas acumulan más materia seca.

Ramanojam y Laskshmi (1984), ratificados por Howeler y Cadavid (1983) escriben que la yuca posee indeterminados hábitos de crecimiento y consignan que la distribución de materia seca entre la parte aérea y las raíces de almacenamiento difieren significativamente entre los cultivares, sugiriendo que esta distribución de MS está bajo control genético. Los estudios realizados sugieren que la eficiencia en la distribución de MS para la producción de raíces tuberosas puede ser considerada como una cualidad útil para la selección de variedades.

La producción de MS en tallos aumenta desde el segundo mes hasta el final del ciclo del cultivo, reportándose la máxima tasa de acumulación entre el cuarto y octavo mes después de siembra. Los dos cultivares difieren en cuanto a la tasa de acumulación de MS en raíces tuberosas.



Concentración y contenido de nutrimentos en diferentes órganos de la planta de yuca a través del ciclo del cultivo

Según Howeler (1981); Howeler (1983); Howeler y Cadavid (1983); Cadavid (1988a), la concentración de nutrimentos en yuca varía considerablemente entre partes (órganos) de la planta y también durante el ciclo de crecimiento.

A medida que la planta envejece, las concentraciones de N, P, K disminuyen significativamente en hojas, tallos y raíces tuberosas; mientras que las de Ca, Mg tienden a aumentar en las hojas y tallos, pero disminuyen en raíces.

Las Tablas 4-9 y 4-10 muestran la variación en concentración de los diferentes órganos de la planta de yuca, demostrándose que dentro de la parte aérea se presentan diferencias bien marcadas entre los diferentes órganos y se encuentran diferencias considerables entre la parte superior e inferior de la planta (Courst et al., 1961; Howeler, 1983; Howeler y Cadavid, 1983; Cadavid, 1988a).

Tabla 4-9. Concentración de nutrimentos en varias partes de plantas fertilizadas y no fertilizadas de yuca. Datos promedio de muestras tomadas a los 2, 3 y 4 meses de MCol 22 y MMex 59 en un Ultisol de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	%						Ppm				
Con fertilización ^a											
Lámina foliar											
Superior	5.74	0.42	1.98	0.72	0.34	0.30	15.0	11.9	202	456	128
Media	5.18	0.27	1.80	1.01	0.38	0.28	16.6	12.1	251	610	149
Baja	4.40	0.20	1.58	1.34	0.49	0.22	16.5	12.3	288	775	195
Pecíolos											
Superior	2.25	0.22	2.93	0.90	0.38	0.06	13.0	7.9	59	604	106
Media	1.41	0.14	2.35	1.13	0.39	0.02	12.7	6.9	57	824	146
Baja	1.35	0.12	2.23	1.54	0.48	0.01	14.5	8.2	93	1456	237
Tallos											
Superior	2.73	0.30	3.15	0.82	0.37	0.18	12.7	15.6	104	368	102
Media	2.21	0.27	2.21	1.02	0.38	0.16	10.5	20.6	108	408	146
Baja	1.28	0.22	1.14	0.65	0.31	0.09	6.9	19.3	207	186	141
Raíces	1.52	0.18	1.56	0.24	0.14	0.05	6.1	9.2	423	147	64
Sin fertilización											
Lámina foliar											
Superior	5.31	0.33	1.86	0.71	0.33	0.30	7.1	12.4	150	344	86
Media	4.44	0.19	1.60	0.95	0.37	0.27	7.8	12.0	224	435	90
Baja	3.56	0.15	1.45	1.28	0.50	0.23	6.9	9.8	383	619	80
Pecíolos											
Superior	1.91	0.17	3.07	0.95	0.40	0.07	8.1	9.9	74	462	73
Media	1.52	0.08	2.32	1.22	0.41	0.02	6.9	7.3	54	847	108
Baja	1.14	0.06	1.99	1.62	0.49	0.02	7.1	6.8	153	1484	143
Tallos											
Superior	2.92	0.26	3.49	0.88	0.40	0.21	8.2	20.5	162	311	69
Media	2.56	0.18	2.00	0.96	0.39	0.20	6.6	24.8	105	350	94
Baja	1.12	0.11	0.95	0.69	0.32	0.10	5.9	27.9	244	153	52
Raíces	1.33	0.12	1.61	0.27	0.15	0.04	5.9	12.1	592	209	67

^a Fertilización: 100 kg/ha de N, 131 kg/ha de P, 83 kg/ha de K, 20 kg/ha de S, 10 kg/ha de Zn, 1 kg/ha de B en banda sencilla a los 30 días después de siembra.

Fuente: Howeler y Cadavid, 1983.



Tabla 4-10. Concentración de nutrimentos en hojas superiores, resto de hojas, tallos, raicillas y raíces tuberosas de la planta de yuca (CM 523-7). Los datos son promedio de muestras tomadas a los 2, 3 y 4 meses de siembra.

	N	P	K	Ca	Mg	S
	g/kg					
Con fertilización ^a						
Láminas F. Superiores	60.8	5.1	18.0	6.0	3.8	3.3
Resto de Láminas F.	50.3	3.3	15.3	11.9	5.2	3.0
Pecíolos	12.6	1.3	20.3	9.5	3.3	0.6
Tallos	16.5	2.2	21.0	6.8	2.8	1.7
Raicillas	20.6	2.3	22.2	4.8	3.9	2.4
Raíces gruesas	11.6	1.6	12.0	1.3	1.2	0.8
Sin fertilización						
Láminas F. superiores	56.0	4.4	17.0	5.6	3.5	3.2
Resto de Láminas F.	48.4	2.5	13.9	10.3	4.7	2.9
Pecíolos	13.0	1.1	19.1	10.8	3.1	0.8
Tallos	18.0	1.4	17.6	8.2	2.9	2.2
Raicillas	17.8	1.5	16.8	5.2	3.6	3.0
Raíces gruesas	11.0	1.1	10.2	2.0	1.2	0.9

^a Fertilización: 112 kg/ha de N, 49 kg/ha de P, 93 kg/ha de K en banda sencilla 30 días después de siembra.

Fuente: Cadavid, 1988a

Según Howeler y Cadavid (1983), el máximo incremento en la acumulación de nutrimentos durante el ciclo de crecimiento, ocurre entre los dos y los cuatro meses después de siembra. Después de los cinco meses, la mayoría de los nutrimentos descienden en su tasa de absorción.

Basándose en los estudios de absorción y acumulación de nutrimentos y el estado óptimo de aprovechamiento de éstos por la planta, se determinó la época precisa para realizar muestreo foliar (entre el tercer y cuarto mes después de siembra) como guía para la interpretación de análisis de tejido vegetal sobre la base de los niveles críticos ya establecidos (Tabla 4-11).

Tabla 4-11. Concentración de nutrimentos en las láminas foliares más jóvenes completamente expandidas de yuca a los 3 - 4 meses que corresponden a varios estados nutricionales de la planta.

Elemento	Estado nutricional de la planta ^a				
	Deficiente	Bajo	Suficiente	Alto	Tóxico
N (%)	<4.7	4.7 - 5.1	5.1 - 5.8	>5.8	- ^b
P (%)	<0.30	0.30 - 0.36	0.36 - 0.50	>0.50	-
K (%)	<1.0	1.0 - 1.3	1.3 - 2.0	>2.0	-
Ca (%)	<0.65	0.65 - 0.75	0.75 - 0.85	>0.85	-
Mg (%)	<0.27	0.27 - 0.29	0.29 - 0.31	>0.31	-
S (%)	<0.24	0.24 - 0.26	0.26 - 0.30	>0.30	-
B (ppm)	<20	20 - 30	30 - 60	60 - 100	>100
Cu (ppm)	<5	5 - 6	6 - 10	10 - 15	>15
Fe (ppm)	<100	100 - 120	120 - 140	140 - 200	>200
Mn (ppm)	<45	45 - 50	50 - 120	120 - 250	>250
Zn (ppm)	<25	25 - 30	30 - 60	60 - 120	>120

^a Deficiente = <80% del rendimiento máximo; Bajo = 80 - 90% del rendimiento máximo; Suficiente = 90 - 100% del rendimiento máximo; Alto = 100 - 90% del rendimiento máximo; Tóxico = <90% del rendimiento máximo.

^b No se obtuvieron datos.

Fuente: Howeler, 1983



Howeler (1983), indica que “los niveles críticos o los rangos publicados en la literatura agrícola para cada cultivo son muy importantes como una guía para interpretar los datos de los análisis foliares obtenidos. Pero estos datos solamente deben utilizarse como una guía, porque los contenidos de nutrimentos varían con las variedades, con el estado del tiempo (lluvia, temperatura, etc.) y con el suelo”.

En general, la tasa de absorción o acumulación es lenta durante los dos primeros meses y aumenta a partir de los 60 días con un máximo hasta los cuatro o cinco meses en promedio. O sea, según Howeler y Cadavid (1983), Cadavid (1988a), que el máximo incremento en acumulación ocurre entre el segundo y cuarto mes después de siembra. Este período corresponde a la máxima acumulación de MS. Después, la rata de absorción de nutrimentos decrece o permanece constante hasta los diez meses para algunos nutrimentos, mientras que para otros, la absorción continúa durante todo el ciclo del cultivo. Scheid y Aparicio (1978), Howeler y Cadavid (1983), Howeler (1986) y otros investigadores, reportan casos similares.

Howeler y Cadavid (1983), Cadavid (1988a) reseñan como el N, P, K se acumula en las raíces. También lo hacen Cu, Fe y B. Mientras que Ca, Mg, S, Mn y Zn se acumulan principalmente en los tallos (Tabla 4-12).

Tabla 4-12. Contenido de nutrimentos (mg/planta) en varias partes de plantas fertilizadas de yuca (cultivar MCol 22) durante doce meses de crecimiento en Santander de Quilichao, Cauca, Colombia.

		Meses después de siembra								
		1	2	3	4	5	6	8	10	12
N	LF	89	1231	4230	5300	2703	4877	2206	2702	3350
	Pecíolos	6	134	368	485	202	378	144	182	207
	Tallo	117	422	1146	1919	3022	4191	4707	5984	6930
	Raíces	–	125	1078	2250	4428	5605	7043	9424	9709
	Total	212	1912	6824	9954	10355	15051	14100	18292	20196
P	LF	5	71	267	227	137	288	136	147	174
	Pecíolos	–	10	35	34	16	31	10	20	18
	Tallo	37	71	157	205	358	422	482	378	766
	Raíces	–	11	153	344	576	629	861	1036	1387
	Total	42	163	612	810	1087	1370	1489	1581	2345
K	LF	24	337	1408	1716	507	1564	712	817	945
	Pecíolos	9	161	598	744	347	561	159	201	207
	Tallos	58	213	872	1681	2581	2588	2817	3233	3676
	Raíces	5	123	1248	2870	4176	4463	5635	6879	10402
	Total	96	834	4126	7011	7611	9176	9323	11130	15230
Ca	LF	15	157	583	924	525	857	424	452	435
	Pecíolos	4	68	212	393	248	420	125	165	186
	Tallos	216	244	485	864	1061	1704	1986	2412	3083
	Raíces	1	20	113	321	432	915	939	1508	1248
	Total	236	489	1393	2502	2266	3895	3474	4537	4952
Mg	LF	9	67	248	411	166	276	146	146	174
	Pecíolos	2	23	77	142	68	130	32	41	56
	Tallos	93	125	216	401	424	586	707	746	1147
	Raíces	–	9	72	230	288	400	626	660	693
	Total	104	224	613	1184	946	1392	1511	1593	2070



Tabla 4-12. Contenido de nutrimentos (mg/planta) en varias partes de plantas fertilizadas de yuca (cultivar MCol 22) durante doce meses de crecimiento en Santander de Quilichao, Cauca, Colombia (*continuación*).

		Meses después de siembra								
		1	2	3	4	5	6	8	10	12
S	LF	2	61	203	335	185	256	101	88	241
	Pecíolos		4	5		14	30	7	7	14
	Tallos	15	19	63	101	227	383	360	337	578
	Raíces	-	5	8	-	216	171	391	283	555
	Total	17	89	279	436	642	840	859	715	1388
B	LF	0.02	0.29	0.98	1.44	1.02	1.00	0.40	0.73	0.62
	Pecíolos		0.07	0.29	0.52	0.32	0.32	0.08	0.17	0.13
	Tallos	0.09	0.22	0.48	0.99	1.31	1.89	2.07	2.42	3.52
	Raíces	-	0.06	0.50	1.19	1.58	1.37	2.50	2.83	3.88
	Total	0.11	0.64	2.25	4.14	4.23	4.67	5.11	6.15	8.15
Cu	LF	0.02	0.20	0.89	1.22	0.44	0.89	0.37	0.58	0.71
	Pecíolos		0.03	0.18	0.22	0.07	0.13	0.03	0.08	0.07
	Tallos	0.40	0.59	1.09	2.14	2.04	2.74	2.36	3.87	3.80
	Raíces	-	-	0.69	2.02	2.12	3.43	2.50	6.03	6.66
	Total	0.42	0.82	2.85	5.60	4.67	7.19	5.26	10.56	11.24
Fe	LF	0.6	4.3	32.4	22.3	14.6	20.6	10.2	12.9	11.7
	Pecíolos		0.3	2.1	1.7	1.1	1.4	0.5	1.0	0.8
	Tallos	2.4	3.2	15.0	17.8	15.7	38.7	52.7	43.8	141.7
	Raíces	-	4.3	14.6	28.7	32.4	60.0	165.1	125.3	142.9
	Total	3.0	12.1	64.1	70.5	63.8	120.7	228.5	183.0	297.1
Mn	LF	0.4	10.7	38.3	66.6	27.5	67.5	25.2	31.5	26.4
	Pecíolos	0.1	5.2	19.5	52.4	37.8	64.6	15.5	21.2	21.0
	Tallos	0.8	3.4	16.9	40.7	46.3	67.8	74.1	106.7	108.4
	Raíces	0.2	1.5	4.5	11.7	17.3	23.4	20.3	35.8	26.3
	Total	1.5	20.8	79.2	171.4	128.9	223.3	135.1	195.2	182.1
Zn	LF	0.19	2.75	7.37	13.56	5.39	8.23	3.54	4.29	4.76
	Pecíolos	0.04	0.86	3.09	5.15	1.64	2.61	0.86	1.33	1.50
	Tallos	4.34	4.17	8.19	15.06	12.93	17.67	17.74	23.94	26.27
	Raíces	0.02	0.52	3.78	10.79	9.00	14.30	14.09	16.02	16.64
	Total	4.59	8.30	22.43	44.56	28.96	42.81	36.23	45.58	49.17

Fuente: Howeler y Cadavid, 1983.

Requerimientos nutricionales del cultivo (remoción y extracción de nutrimentos del suelo)

Según Scheid y Aparicio (1978), Sittibusaya y Kurmarohita (1978), Lorenzi (1978), Obigbesan (1981), Howeler (1981), Perim (1982), Howeler y Cadavid (1983), Cadavid (1988a), El-Sharkawy et al. (1998), Cadavid (2002a), la yuca extrae grandes cantidades de nutrimentos del suelo, especialmente N, K, Ca.

Las Tablas 4-13 y 4-14 muestran los datos de extracción final de nutrimentos y requerimientos nutricionales del cultivo por tonelada de yuca fresca cosechada.



Tabla 4-13. Efecto de la fertilización química sobre la extracción de nutrimentos (kg/ha) en diferentes partes de plantas de yuca (cultivar CM 523 - 7) a los ocho y diez meses de crecimiento en Santander de Quilichao, Cauca, Colombia.

	Con fertilización		Sin fertilización	
	8	10	8	10
Producción total de MS, t/ha	24.5	25.0	16.1	19.1
Rendimiento raíces frescas, t/ha	35.8	32.3	23.7	26.6
Rendimiento raíces secas, t/ha	14.3	15.4	9.9	12.8
Absorción total de N, kg/ha	236	243	145	167
N en las LF, kg/ha	31	6	22	5
N en los peciolo, kg/ha	2	0.3	1	0.2
N en los tallos, kg/ha	104	109	46	71
N en las raíces, kg/ha	99	127	76	91
Absorción total de P, kg/ha	27	34	14	19
P en las LF, kg/ha	2	0.5	1	0.4
P en los peciolo, kg/ha	0.2		0.1	
P en los tallos, kg/ha	10	15	5	7
P en las raíces, kg/ha	15	19	7	11
Absorción total de K, kg/ha	148	147	68	76
K en las LF, kg/ha	8	2	4	1
K en los peciolo, kg/ha	2	0.2	0.6	0.1
K en los tallos, kg/ha	70	71	23	28
K en las raíces, kg/ha	68	74	40	47
Absorción total de Ca, kg/ha	83	56	43	32
Ca en las LF, kg/ha	12	2	7	2
Ca en los peciolo, kg/ha	3	0.3	2	0.2
Ca en los tallos, kg/ha	57	48	23	25
Ca en las raíces, kg/ha	11	6	11	5
Absorción total de Mg, kg/ha	30	25	21	19
Mg en las LF, kg/ha	3	1	2	0.6
Mg en los peciolo, kg/ha	0.6	0.1	0.4	0.1
Mg en los tallos, kg/ha	16	19	11	12
Mg en las raíces, kg/ha	10	5	8	6
Absorción total de S, kg/ha	27	16	19	14
S en las LF, kg/ha	2	0.4	2	0.4
S en los peciolo, kg / ha	0.3		0.2	
S en los tallos, kg/ha	14	10	9	9
S en las raíces, kg/ha	11	6	9	5

		kg/ha					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Extracción media a los 8 meses por tonelada de raíces frescas cosechadas	Raíces	2.94	0.37	1.81	0.37	0.30	0.34
	Total Planta	6.39	0.69	3.62	2.11	0.86	0.77
Extracción media a los 10 meses por tonelada de raíces frescas cosechadas	Raíces	3.69	0.51	2.05	0.19	0.19	0.19
	Total Planta	6.95	0.90	3.78	1.49	0.75	0.51

Fuente: Cadavid, 1988a



Tabla 4-14. Extracción media de nutrientes por tonelada de raíces frescas cosechadas de varios cultivares de yuca (planta total).

Extracción (kg/ha) de:						Cultivar	Fuente
N	P	K	Ca	Mg	S		
4.91	1.08	5.83	1.83	0.79	—	Varios	Howeler (1981)
4.66	0.54	3.52	1.14	0.48	0.32	MCOL 22	Howeler y Cadavid L (1983)
6.90	0.88	3.71	1.47	0.74	0.51	CM 523 - 7	Cadavid L (1988a)
3.97	0.62	3.56	1.53	1.28	—	MCOL 1468	Caicedo (1993)
3.13	0.44	2.70	1.35	0.86	—	MCOL 1684	Caicedo (1993)
3.89	0.60	2.76	1.09	0.78	—	CM 507 - 37	Caicedo (1993)
3.46	0.55	3.02	1.10	0.78	—	CM 523 - 7	Caicedo (1993)
4.42	0.67	3.58	1.36	0.82	0.42		Promedio varios autores

Fuente: Cadavid, 1995, 2002a

Desórdenes nutricionales del cultivo

Funciones de los elementos en la planta

Algunos de los elementos tienen una función estructural, otros son constituyentes de enzimas (grupo prostético) o activadores de enzimas e intervienen en diferentes procesos dentro de la planta. En la Figura 4-20, adaptada de Malavolta et al. (1989), se amplía esta información.

Movilidad de los nutrimentos dentro de la planta

En la identificación de síntomas visuales de deficiencias nutricionales es muy importante tener en cuenta la movilidad de los nutrimentos por el floema (Tabla 4-15).

Según Howeler (1981), Kramer (1989), Malavolta et al. (1989), Calderón (1991), algunos iones se distribuyen más fácilmente que otros y pueden mostrar movilidad muy diferente dentro del floema.

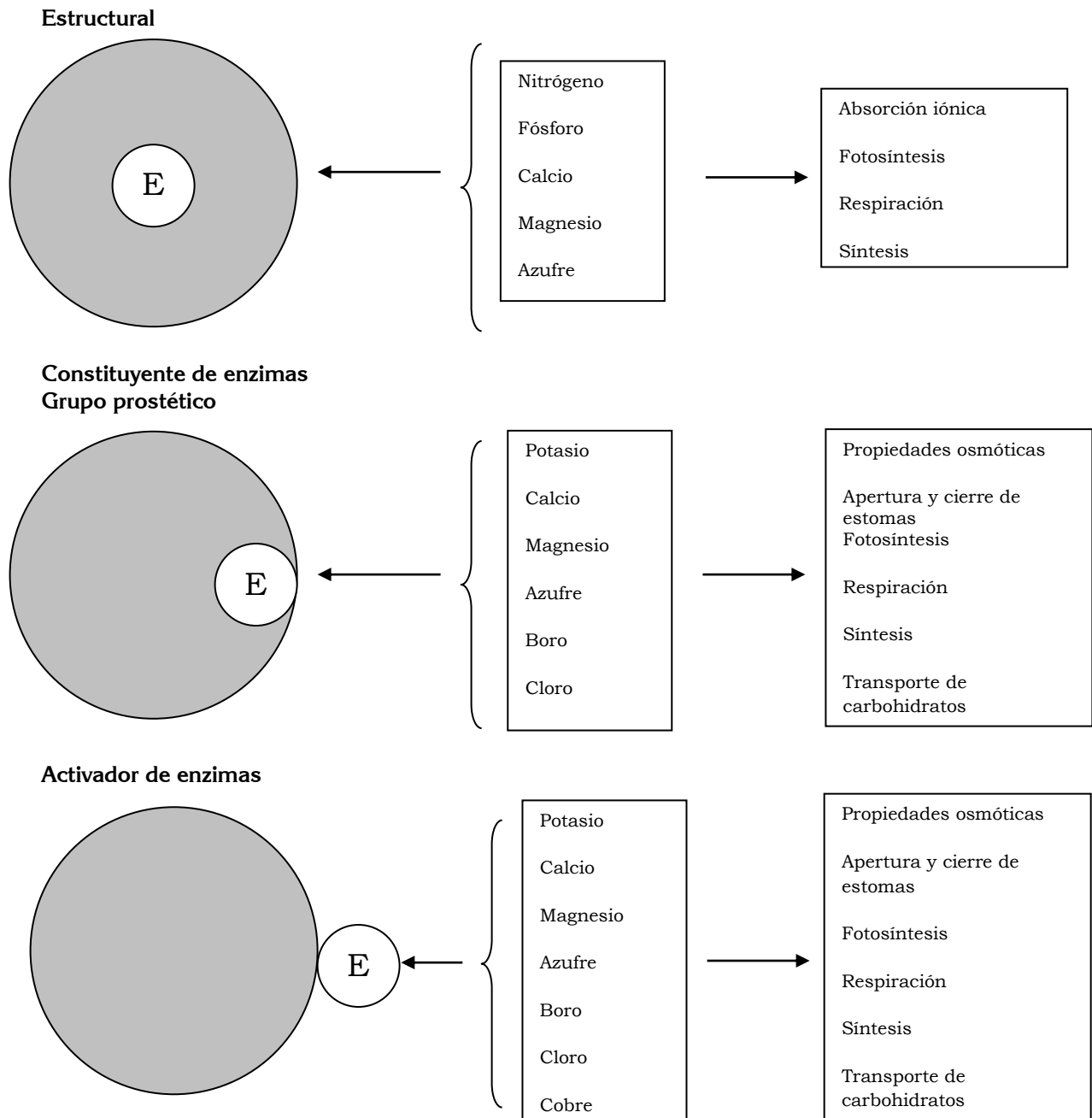


Figura 4-20. Funciones de los elementos nutricionales en la planta
 Fuente: Adaptada de Malavolta et al., 1989



Tabla 4-15. Movilidad de los nutrientes por el floema.

Móviles	Intermedios	No móviles
Nitrógeno	Azufre	Calcio
Fósforo	Cobre	Boro
Potasio	Hierro	Estroncio
Magnesio	Manganeso	
Sodio	Zinc	
Cloro		
Molibdeno		
Rubidio		

Fuente: Howeler, 1981; Malavolta et al., 1989; Kramer, 1989; Calderón, 1991

Conforme a este criterio, se espera que en la planta de yuca los primeros síntomas de deficiencia aparezcan en:

- Hojas viejas (inferiores), elementos móviles. Estas hojas ceden sus elementos por translocación floemática a las hojas jóvenes.
- Partes jóvenes de la planta y hojas expandidas (superiores), elementos de movilidad intermedia.
- Hojas jóvenes (meristemáticas) y meristemos radicales, elementos inmóviles. Los elementos presentes en las hojas viejas no se translocan a las hojas más jóvenes o tejidos nuevos.

Deficiencias y toxicidades en el cultivo

Deficiencias

Howeler (1981), reseña los principales síntomas de deficiencias nutricionales en el cultivo de la yuca.

Nitrógeno: Crecimiento reducido de la planta; en algunos cultivares, amarillamiento uniforme de las láminas foliares, el cual comienza con las inferiores, pero rápidamente se extiende a toda la planta.

Fósforo: Crecimiento reducido de la planta, lámina foliar y lóbulos reducidos y tallos delgados. En condiciones severas, amarillamiento de las hojas inferiores, las cuales se tornan flácidas y necróticas y caen prematuramente (abscisión) al suelo. Algunas veces se presentan colores rojizos (antocianescencia).

Potasio: Crecimiento reducido de la planta, hojas pequeñas. En condiciones muy severas, manchas púrpura, amarillamiento y necrosis de los ápices y márgenes de las láminas foliares inferiores o intermedias; necrosis de los pecíolos o del tejido del tallo; grietas finas en el tallo y tallos rastreros.

Calcio: Crecimiento reducido de la raíz (daño primario), láminas foliares superiores pequeñas y deformes.

Magnesio: Marcada clorosis intervenal en las láminas foliares inferiores y parte media de la planta; cierta reducción en la altura de la planta.

Azufre: Amarillamiento uniforme de las láminas foliares superiores; algunas veces se han observado síntomas similares en el resto de la planta. Parecido a la deficiencia de N.

Boro: Altura reducida de la planta, entrenudos y pecíolos cortos, láminas foliares jóvenes, pequeñas y deformes; manchas púrpura-gris en las láminas foliares completamente expandidas; exudación pegajosa en el tallo y los pecíolos y presencia de chancros (necrosis); reducción del desarrollo lateral de la raíz.



Hierro: Clorosis uniforme de las láminas foliares superiores y de los pecíolos, los cuales se vuelven blancos en condiciones severas; crecimiento reducido de la planta y láminas foliares jóvenes pequeñas sin deformación.

Manganeso: Clorosis intervenal de las láminas foliares superiores o intermedias; clorosis uniforme en condiciones severas; crecimiento reducido de la planta y láminas foliares jóvenes pequeñas sin deformación.

Zinc: Manchas intervenales amarillas o blancas en las láminas foliares jóvenes, las cuales se estrechan y desarrollan clorosis en el ápice vegetativo en condiciones severas; manchas necróticas de las láminas foliares inferiores; crecimiento reducido de la planta. Muchas veces se confunde con un ataque de trips.

Toxicidades

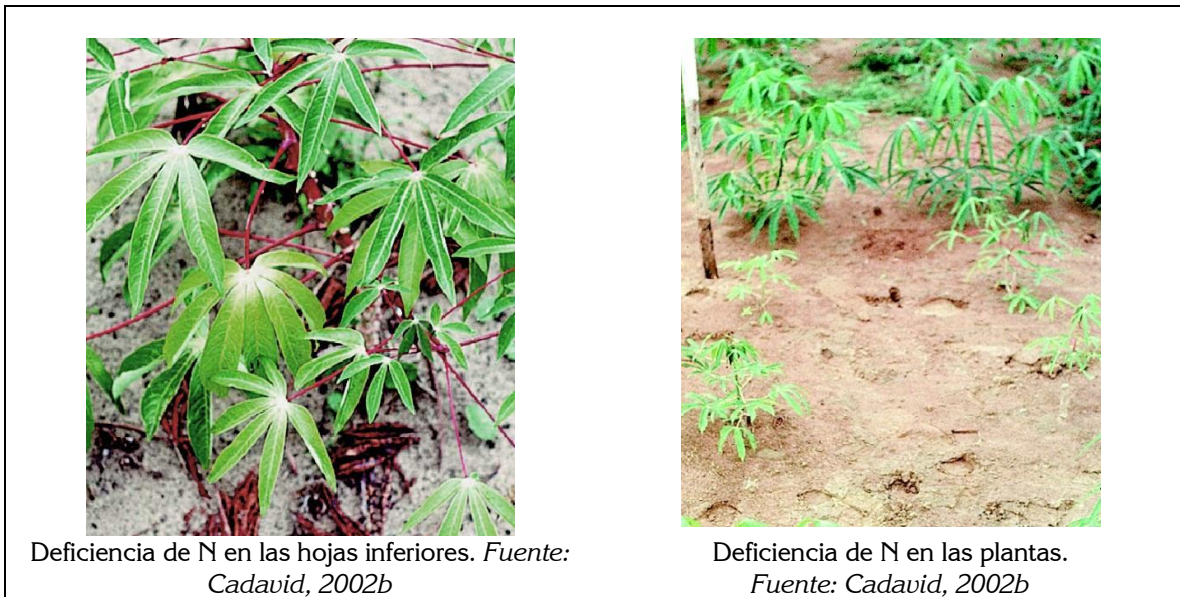
Howeler (1981), reseña los principales síntomas de toxicidad en el cultivo de la yuca.

Aluminio: Reducción de la altura de la planta y del crecimiento de la raíz; amarillamiento de las hojas viejas bajo condiciones severas.

Boro: Manchas necróticas en las hojas viejas, especialmente a lo largo de los márgenes foliares.

Manganeso: Amarillamiento de las láminas foliares viejas con puntos de color púrpura-pardo o negruzco a lo largo de las nervaduras; las hojas se tornan flácidas y caen al suelo.

La Figura 4-21 muestra los principales síntomas de deficiencias y toxicidades en el cultivo de la yuca.



Deficiencia de N en las hojas inferiores. Fuente: Cadavid, 2002b

Deficiencia de N en las plantas. Fuente: Cadavid, 2002b



Deficiencia de P en el campo.
Fuente: Cadauid, 2002b



Deficiencia de P.
Fuente: Cadauid, archivo personal.



Deficiencia de K.

Fuente: Cadauid, archivo personal.



Hojas con deficiencia de K.

Fuente: Cadauid, 2002b



Hojas con deficiencia de K.
Fuente: Cadauid, 2002b

Deficiencia de K en tallos.
Fuente: Cadauid, 2002b

Deficiencia de Ca en la raíz.
Fuente: Cadauid, 2002b



Deficiencia de Ca en las hojas superiores.
Fuente: Cadauid, 2002b



Deficiencia de Mg.
Fuente: Cadauid, archivo personal.



Deficiencia de Mg.
Fuente: Cadauid, 2002b



Hojas con deficiencia de Mg.
Fuente: Cadauid, 2002b



Deficiencia de S.
Fuente: Cadauid, archivo personal.



Deficiencia de S en las hojas superiores.
Fuente: Cadauid, 2002b



Deficiencia de micronutrientes (Mn) en las hojas.

Fuente: Cadavid, 2002b



Deficiencia de Mn.

Fuente: Cadavid, 2002b



Deficiencia de Mn en las hojas.

Fuente: Cadavid, 2002b



Plantas con deficiencia de B.

Fuente: Cadavid, 2002b



Deficiencia de B.

Fuente: Cadavid, archivo personal.



Deficiencia de Zn.

Fuente: Cadavid, archivo personal.



Deficiencia de Zn.
Fuente: Cadavid, 2002b



Hojas con deficiencia de Zn.
Fuente: Cadavid, 2002b



Planta con deficiencia de Fe.
Fuente: Cadavid y Albán, archivo Clayuca.



Hojas con deficiencia de Fe.
Fuente: Cadavid y Albán, archivo Clayuca



Hojas con deficiencia de Fe.
Fuente: Cadavid, 2002b



Toxicidad por Al.
Fuente: Cadavid, 2002b



Toxicidad por B.
Fuente: Cadauid, archivo personal.



Toxicidad por B.
Fuente: Cadauid, 2002b



Toxicidad por Mn.
Fuente: Howeler, archivo personal.



Efecto de salinidad.
Fuente: Cadauid y Albán, archivo Clayuca.



Efecto de salinidad.
Fuente: Cadauid y Albán, archivo Clayuca.



Efecto de salinidad.
Fuente: Cadauid, 2002b

Figura 4-21. Principales síntomas de deficiencias y toxicidades en el cultivo de la yuca.



Recomendación de fertilizantes en el cultivo de la yuca

“La fertilización es un mecanismo de manejo y, como tal, se debe concebir con el fin de recuperar, mantener y sostener la fertilidad de los suelos y aumentar la productividad de los cultivos” (Cadavid, 2002a). Es importante conocer la necesidad de fertilización del cultivo, y ésta se da en términos de: requerimiento nutricional ponderado del cultivo (kg/ha), disponibilidad de nutrimentos en el suelo (kg/ha) y la eficiencia del fertilizante (%).

Diagnóstico de la fertilidad de los suelos

Cuando se habla de fertilización es necesario recurrir a un diagnóstico del suelo, para detectar los posibles limitantes que éste presenta y poder pronosticar a tiempo las posibles deficiencias del cultivo a establecer.

En realidad, con el diagnóstico se conoce la disponibilidad de nutrimentos en el suelo y cómo repercute cualquier limitante o exceso en el cultivo de la yuca. El objetivo básico del diagnóstico químico y físico es el de evaluar la capacidad de los suelos para suministrar los nutrimentos a las plantas, es decir, medir su fertilidad potencial. Existen herramientas para realizar este diagnóstico:

- a) Análisis químico y físico del suelo
- b) Análisis de tejido vegetal
- c) Niveles críticos del suelo y de la planta
- d) Conocimiento de desórdenes nutricionales (deficiencias, toxicidades)
- e) Requerimientos nutricionales del cultivo
- f) Respuesta del cultivo a la fertilización
- g) Conocimiento del material de origen de los suelos estudiados
- h) Clasificación taxonómica, de ser posible el orden
- i) Cultivo o cultivos anteriores
- j) Grado de explotación de ese suelo

Análisis químico y físico del suelo

Según Cadavid (2002a), el muestreo y posterior análisis de suelo se convierte en herramientas muy importantes antes de la siembra, para diagnosticar y corregir problemas nutricionales, evitando que aparezcan deficiencias que afecten el crecimiento y el desarrollo de una planta. En yuca, la ausencia de síntomas claros de macronutrientes indica que los problemas nutricionales pueden no notarse fácilmente, lo que hace al análisis foliar y químico, herramientas claves para determinar el estado nutricional de la planta (Howeler, 1981).



Figura 4-22. Muestreo para análisis de suelo.

Fuente: López LM (archivo personal).



El análisis de suelo también ayuda a monitorear el estado de fertilidad de los suelos a través de los años y conocer si su fertilidad se reduce, se mantiene o aumenta (Inpofos, 1993). La Tabla 4-16, con datos de un suelo arenoso de la Costa Norte de Colombia, es un ejemplo en el que se manifiesta la ganancia o pérdida de fertilidad del suelo de acuerdo con el manejo, el tiempo y el cultivo.



Figura 4-23. Suelo arenoso de la Costa Norte de Colombia.
Fuente: López LM (archivo personal).

Tabla 4-16. Monitoreo de un suelo arenoso en Pivijay, Magdalena, Colombia, sembrado por 8 años continuos con yuca y sin abono químico u orgánico.

Años	pH	P(ppm)	K	Ca		Mg	Fertilidad
				(meq/100 g suelo)			
1	6.50	8.38	0.05	0.87	0.28	Baja	
2	5.60	7.10	0.03	0.65	0.20	↓	
3	5.30	4.70	0.04	0.55	0.13		
4	5.30	5.70	0.03	0.48	0.12		
5	5.30	6.35	0.04	0.43	0.11		
6	5.35	8.25	0.04	0.34	0.07		
7	4.85	7.65	0.05	0.35	0.09		
8	4.15	5.18	0.03	0.32	0.09		Muy Baja

Fuente: Cadavid, 2002a.

Niveles críticos de parámetros del suelo

Howeler (1981), Howeler y Cadavid (1990), Cadavid (1988b), Cadavid (2002a), han establecido y reportado una serie de parámetros o niveles críticos que se convierten en herramienta básica para la correcta interpretación de un análisis de suelo cuyo destino es la recomendación para el cultivo de la yuca.

En la Tabla 4-17 se resume la mayor parte de estos datos, fruto del trabajo de varios años de investigación.



Tabla 4-17. Niveles críticos de parámetros del suelo para el cultivo de la yuca.

pH	Sat Al	CE	P	S	Zn	Mn	Fe	Sat Na	N	K	Ca	Mg
1:1	%	mhos/cm	mg/kg					%	g/kg	cmol/kg		
4.0-7.5	80	0.5-0.6	10	8	1.0	5.0	< 2.0	3.0	< 1.5	0.15	0.25	0.12

Respuesta de la yuca a la fertilización

Dentro de las alternativas viables para recuperar, sostener y aumentar la fertilidad de los suelos dedicados al cultivo de la yuca y aumentar el rendimiento y la calidad del cultivo, está la fertilización ya sea química u orgánica.

Los diferentes estudios realizados sobre la respuesta de la yuca a la aplicación de abonos químicos u orgánicos en diferentes regiones y suelos de Colombia, han sido de gran ayuda y, esto se ha observado en los diferentes resultados: el efecto benéfico y altamente significativo sobre la producción y recuperación de la fertilidad del suelo.

Es frecuente y común sembrar la yuca sin el uso de fertilizantes, pero de acuerdo a estudios previos, se sabe que la planta responde positivamente a la fertilización y se pueden alcanzar rendimientos óptimos con el empleo de prácticas adecuadas de fertilización (Howeler, 1981; Cadavid y Howeler, 1984).

Cadavid y Howeler (1982), escriben: “por la intensificación del cultivo, su importancia económica actual, su siembra en suelos de fertilización muy baja, sus altos requerimientos externos de fertilizantes, es necesario el empleo y el estudio de la fertilización en forma racional y ajustada a las necesidades de cada región: clase de suelo, cultivar, grado de fertilidad del suelo, textura, clase de fertilizante”. De acuerdo con lo anterior, la investigación sobre fertilización en yuca en muchas áreas del mundo y en varias regiones de Colombia, ha dado respuestas positivas y altamente significativas, especialmente a fósforo y potasio (Cadavid, 1988b).

Nitrógeno

En Colombia, el ICA y el CIAT han realizado prácticas de fertilización sobre la respuesta de la yuca a las aplicaciones de N, P, K, con resultados alentadores. Por ejemplo, Ramírez (1978) reportó rendimientos superiores a 40 t/ha con el cultivar CMC 92 en Popayán, Cauca, con la aplicación de 100-44-83 kg/ha de N, P, K, respectivamente; Howeler (1981), cita cómo en los municipios de El Tambo, Mondomo y Santander de Quilichao, Cauca, el rendimiento promedio sin fertilización fue aproximadamente de 4.4 t/ha; mientras que Cadavid y Howeler (1982), en un Ultisol de Santander de Quilichao, Cauca, reportaron respuestas altamente significativas a la fertilización química con la fórmula 100-87-125 kg/ha de N, P, K, respectivamente y con el cultivar Llanera.

En un estudio sobre la fertilización de la yuca y su efecto a largo plazo sobre la fertilidad del suelo en Santander de Quilichao, Cauca, llevado a cabo por Cadavid y Howeler (1982), se indica cómo con 75 a 100 kg/ha de nitrógeno se consigna un rendimiento superior a 30 t/ha en promedio. Ngongi (1976), citado por Cadavid (1988b), observó que las aplicaciones moderadas de nitrógeno (50 a 100 kg/ha) incrementaron significativamente los rendimientos, mientras que aplicaciones mayores los reducían, en Oxisoles de los llanos Orientales de Colombia (Meta).

En estudios más recientes, Cadavid (1988b), reporta cómo en suelos de Santander de Quilichao, Mondomo, Pescador y Popayán, Cauca, con aplicaciones de nitrógeno entre 50 y 200 kg/ha, se registró, en casi todos los sitios, que el mayor incremento sobre la producción se produjo con la aplicación de 50 kg/ha, descendiendo



el rendimiento con aplicaciones mayores, excepto en suelos de Popayán en donde con 100 kg/ha se obtuvieron los mayores rendimientos. La Tabla 4-18 reseña estos resultados.

Este tipo de respuesta es lógica, teniendo en cuenta que en la zona de estudio (Cauca, Colombia), el contenido de materia orgánica en el suelo está entre un nivel medio a alto, caso de Popayán, pero en esta región la mineralización de la materia orgánica del suelo es muy baja.

Tabla 4-18. Respuesta de la yuca a las aplicaciones de Nitrógeno en suelos del Cauca, Colombia.

Localidad	Rendimiento raíces frescas (t/ha)			
	Niveles de nitrógeno* (kg/ha)			
	0	50	100	200
Quilichao- ¹	24.0	33.7	31.4	30.2
Quilichao- ²	25.0	38.5	37.8	38.1
Mondomito	13.6	15.0	15.8	16.5
Tres Quebradas	15.7	17.2	16.2	19.0
Pescador	11.2	13.5	15.0	19.9
Popayán	14.9	18.1	21.1	18.5
Promedio	17.4	22.7	22.9	23.7

* Se empleó urea como fuente de Nitrógeno
Fuente: Extractado de Cadavid, 1988b

Cadavid (1988b), reseña como en la Costa Atlántica (Magdalena y Cesar), en casi todos los sitios de referencia hubo una ligera respuesta positiva a las aplicaciones de Nitrógeno sobre la producción de raíces frescas (Tabla 4-19).

Por los datos tan bajos de contenido de materia orgánica del suelo (menores de 10 g/kg) reportados en estos suelos, se podría pensar en una respuesta altamente significativa a la aplicación de este nutrimento en todos los sitios de estudio. Este hecho nos pone de manifiesto que este solo dato no es significativo y/o exclusivo para recomendar nitrógeno en esta zona y, posiblemente, existen otros factores de suelo y/o ambiente que interactúan con la respuesta. Además, por ser suelos con un alto porcentaje de arenas, las pérdidas de nitrógeno por lixiviación son altas, por lo que las aplicaciones deben ser fraccionadas (30 y 60 días después de siembra).

Tabla 4-19. Respuesta de la yuca a las aplicaciones de nitrógeno en suelos de la Costa Atlántica (Magdalena y Cesar), Colombia.

Localidad	Rendimiento raíces frescas (t/ha)			
	Niveles de nitrógeno* kg/ha)			
	0	50	100	200
Caribia	26.4	30.9	22.9	33.2
La Colorada	16.6	17.7	21.0	19.8
La Idea	19.8	20.5	20.2	27.7
Valledupar	26.3	26.7	28.2	26.8
Promedio	22.3	24.0	23.1	26.9

* Se empleó urea como fuente de nitrógeno.
Fuente: Extractada de Cadavid, 1988b

Howeler y Cadavid (1990), reportan que en Oxisoles de los Llanos Orientales de Colombia, Meta, se observó una respuesta positiva y significativa a las aplicaciones de nitrógeno hasta el nivel de 100 kg/ha; con aplicaciones mayores, la respuesta fue menor (Tabla 4-20).



Tabla 4-20. Respuesta de la yuca a las aplicaciones de nitrógeno en suelos de los Llanos Orientales, Meta, Colombia.

Localidad	Rendimiento raíces frescas (t/ha)			
	Niveles de nitrógeno* (kg/ha)			
	0	50	100	200
Alegría	15.8	20.7	21.2	22.1
Reserva	17.7	22.5	19.7	20.1
Las Leonas	19.6	28.6	32.3	30.7
San Martín	33.1	36.4	33.7	34.7
Promedio	21.6	27.1	26.7	26.9

* Se empleó urea como fuente de nitrógeno.

Fuente: Howeler y Cadavid, 1990

Aunque el nitrógeno reportado en el suelo estaba entre medio y bajo (44.0 y 18.0 g/kg de materia orgánica), éste no fue un factor limitante de la producción, aunque sí es un nutrimento necesario y benéfico teniendo en cuenta la alta extracción de este nutrimento por la yuca (Cadavid, 1988b; Howeler y Cadavid, 1990).

Fósforo

La Tabla 4-21 reporta la respuesta de la yuca a las aplicaciones de fósforo en suelos del Cauca, Magdalena, Cesar y Meta.

Se observa una respuesta positiva y altamente significativa sobre la producción de raíces frescas con las aplicaciones de fósforo en suelos del Cauca y Meta, especialmente al nivel de 50 kg P/ha. En los suelos del Magdalena y Cesar, aunque se observa un ligero incremento sobre la producción con la aplicación de 50 kg P/ha, este no es significativo, y en Valledupar que registra contenidos muy altos de fósforo, superiores a 40 mg/kg, la respuesta es nula.

Tabla 4-21. Respuesta de la yuca a las aplicaciones de fósforo en suelos de Cauca, Magdalena, Cesar y Meta, Colombia.

Localidad	Departamento	Rendimiento raíces frescas (t/ha)			
		Niveles de fósforo* (kg/ha)			
		0	50	100	200
Quilichao ¹	Cauca	14.9	29.8	31.4	36.7
Quilichao ²	Cauca	12.6	36.8	37.5	37.3
Mondomito	Cauca	11.0	19.3	20.6	21.0
Agua Blanca	Cauca	13.2	25.3	24.8	24.6
Telecom	Cauca	15.8	23.6	26.4	25.3
Tres Quebradas	Cauca	7.9	15.9	16.2	19.1
Pescador	Cauca	5.7	15.4	15.0	15.3
Popayán	Cauca	8.6	15.8	21.1	21.9
Promedio	Cauca	11.3	22.7	24.1	25.2
Caribia	Magdalena	30.8	35.1	29.4	32.6
La Colorada	Magdalena	16.9	17.6	19.6	18.5
La Idea	Magdalena	21.5	24.0	20.2	19.1
Valledupar	Cesar	30.7	31.6	28.2	30.0
Promedio	Magd/Cesar	25.0	27.1	24.4	25.1
Alegría	Meta	2.5	20.8	21.2	22.0
Reserva	Meta	9.2	17.1	19.7	21.7
Las Leonas	Meta	11.7	30.9	32.3	30.6
Pto. Gaitán	Meta	2.4	15.9	16.0	17.1
Promedio	Meta	6.5	21.2	22.3	22.9
Prom. General		14.3	23.7	23.6	24.4

* Se empleó como fuente de fósforo, Superfosfato triple

Fuente: Extractada de Cadavid, 1988b; Howeler y Cadavid, 1990.



Los suelos del Cauca, base del estudio, son altamente fijadores de P, en especial los de Mondomo, Pescador y Popayán que son suelos derivados de ceniza volcánica y con altos contenidos de alófana. Los del Meta, también son altamente fijadores de P.

La Tabla 4-22 reseña el efecto de la aplicación de Fósforo sobre el rendimiento de raíces frescas en suelos de Carimagua, Llanos Orientales de Colombia, Meta, empleando varias fuentes.

Tabla 4-22. Efecto de la aplicación de P (según su fuente) en el rendimiento de yuca (t/ha) a los 12 meses de edad en Carimagua, Llanos Orientales, Meta, Colombia.

Fuente	Rendimiento raíces frescas (t/ha)				
	Niveles de fósforo (kg P ₂ O ₅ /ha)				
	0	50	100	200	400
Testigo	6.5				
Superfosfato triple _a		13.9	19.8	18.4	22.3
Superfosfato simple _a		10.8	13.7	19.0	22.2
Fosfato de Mg fundido _a		8.2	13.1	11.2	13.7
Escorias Thomas ^a		10.9	10.9	11.9	13.8
Escorias Thomas _b		16.1	19.8	20.9	25.2
R.F. 20% acidulada _b		14.4	18.4	19.6	22.5
R.F. Huila + S _b		15.7	19.7	21.6	21.8
R.F. Huila ^b		13.0	17.4	18.9	19.6

a Aplicación en banda

b Aplicación al voleo e incorporación

c R.F. (roca fosfórica).

Fuente: Extractada de Cadavid, 1980; Cadavid, 2002a

Se observa una respuesta positiva y significativa a las aplicaciones de este nutrimento, especialmente al nivel de 100 kg P₂O₅ (44 kg P/ha), empleando superfosfato triple en banda sencilla (20 t/ha vs. 6.5 t/ha del testigo). Con escorias Thomas y rocas fosfóricas, aplicadas al voleo, el efecto fue positivo hasta 400 kg P₂O₅/ha; mientras que con escorias Thomas en banda el efecto no fue muy significativo y los rendimientos estuvieron muy bajos, al igual que fosfato de magnesio fundido, aplicado en banda. Estos datos nos ponen de manifiesto que con el empleo de diferentes fuentes de P, el método de aplicación es muy importante.

Además, en este tipo de suelo, el efecto residual de la fuente es muy importante, especialmente con el empleo de fuentes de lenta solubilidad en agua, caso de las rocas fosfóricas y escorias Thomas como se observa en los datos de la Tabla 4-18, donde se reseña el efecto benéfico de las aplicaciones de P sobre el contenido de este nutrimento en el suelo y, es notoria la diferencia entre fuentes de alta solubilidad en agua, tipo superfosfato triple y fuentes de lenta solubilidad en agua, tipo rocas fosfóricas.

Los resultados de este tipo de ensayos resaltan la importancia de la fertilización fosfórica en suelos deficientes en P, y ponen de manifiesto que hay una alta respuesta a las aplicaciones de este elemento y que fuentes de lenta solubilidad en agua podrían ser una excelente alternativa, ya que aplicaciones al voleo son más eficientes, disminuyendo así la alta fijación de P existente en este tipo de suelos (Cadavid, 1980).

En suelos de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia (1989-1990), Pellet y El-Sharkawy (1993) reportaron datos muy positivos sobre la respuesta a las aplicaciones de P, especialmente al nivel de 50 kgP/ha en un suelo que contenía 2.5 mg/kg de fósforo (Tabla 4-23). Al observar los datos de índice de área foliar, con las aplicaciones de P, aumenta progresivamente en cada uno de los clones estudiados y esta respuesta se da en razón directa con el rendimiento. En yuca un índice entre 3 y 5 es el adecuado, a medida que éste aumenta, la tasa de rendimiento tiende a incrementarse hasta que alcanza el nivel óptimo (4 a 5), lo que corresponde a una intercepción de luz del 95% (Cock y El Sharkawy, 1988).



Tabla 4-23. Respuesta de la yuca a la aplicación de P en un suelo de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia.

Variedad	Rendimiento raíces secas (t/ha)			Índice de área foliar (IAF) _a		
	Nivel de P (kg/ha)			Nivel de P (kg/ha)		
	0	50	100	0	50	100
CM 523-7	11.6	14.1	14.3	3.3	3.7	4.0
CM 489-1	9.6	13.1	14.0	1.5	2.4	3.4
M Col 1684	9.8	10.6	11.5	1.7	3.5	3.8
CMC 40	6.0	9.6	10.4	1.4	2.0	3.0

a índice de área foliar a los cuatro meses después de siembra.

b LSD 5% para niveles de fertilización entre variedades: 2.7, 1.3

c LSD 5% para variedades en el mismo nivel de fertilización: 2.5, 0.7

Fuente: *Extractada de Pellet y El Sharkawy, 1993.*

En todos los suelos estudiados, y con contenidos de P por debajo de 10 mg/kg (Bray II), la respuesta a las aplicaciones de P fueron positivas y altamente significativas, especialmente al nivel de 50 kg/ha. La mayoría de las veces, los cultivares no respondieron a las aplicaciones mayores e inclusive la respuesta fue negativa, debido posiblemente a la inducción de deficiencia de zinc o a una inhibición de la micorriza vesículo arbuscular.

En suelos en donde se siembra yuca por períodos prolongados y, especialmente en suelos deficientes en potasio, es muy importante tener en cuenta la alta extracción de este nutrimento. Todos los suelos sembrados con yuca pierden sus reservas de potasio fácilmente, presentándose deficiencias y, por ende, disminución del rendimiento y baja calidad de las raíces tuberosas.

Potasio

Según investigaciones realizadas en diferentes clases de suelos en el país, se concluye que el potasio es un elemento esencial y limitante en la producción de yuca (Cadavid, 1995, El Sharkawy y Cadavid, 2000).

La Tabla 4-24 resume los datos de investigación en diferentes sitios del país sobre la respuesta de la yuca a la aplicación de potasio y en donde se muestra una respuesta benéfica y altamente significativa sobre la producción, especialmente en los departamentos del Meta y Cauca, siendo el nivel entre 50 y 100 kg K/ha el más adecuado.

En un Inceptisol arcilloso del Cauca, Colombia, con contenido alto de carbono orgánico (4.8%), bajo P (2.0 mg/kg), contenido medio de K (0.18 cmol/kg), se evaluaron 14 clones de yuca durante cinco años continuos (Tabla 4-25). Aunque el contenido de K era medio en el suelo, hubo respuesta significativa en el rendimiento a las aplicaciones de K, hasta 50 kg/ha, en el primer ciclo. En el quinto ciclo se registra una respuesta positiva hasta los 100 kg/ha en casi todos los clones, pero el rendimiento decayó por la remoción constante de este nutrimento en el suelo y otras pérdidas en el sistema.



Tabla 4-24. Respuesta de la yuca a las aplicaciones de potasio en suelos del Cauca, Magdalena, Cesar y Meta, Colombia.

Localidad	Departamento	Rendimiento raíces frescas (t/ha)			
		Niveles de potasio* (kg/ha)			
		0	50	100	200
Quilichao	Cauca	22.9	39.9	37.5	45.4
Mondomito	Cauca	14.9	22.7	20.6	18.0
Telecom	Cauca	24.4	26.0	26.4	23.4
Pescador	Cauca	8.3	14.7	15.0	21.8
Popayán	Cauca	15.7	16.7	21.1	18.0
Promedio	Cauca	17.2	24.0	24.1	25.3
Caribia	Magdalena	29.6	26.5	22.9	27.2
La Colorada	Magdalena	26.4	20.1	17.8	15.0
La Idea	Magdalena	17.0	17.3	20.5	21.5
Valledupar	Cesar	30.5	27.0	28.0	27.9
Promedio	Magd., Cesar	25.9	22.7	22.3	22.9
Alegria	Meta	2.9	16.3	21.2	28.0
Reserva	Meta	10.1	15.5	19.7	22.0
Las Leonas	Meta	9.1	24.2	32.3	30.1
Pto. Gaitán	Meta	9.3	15.0	16.0	21.7
San Martín	Meta	27.6	35.6	33.7	34.4
Promedio	Meta	11.8	21.3	24.6	27.2
Promedio	País	18.3	22.7	23.7	25.1

* Se empleó como fuente de potasio, cloruro de potasio.
Fuente: Cadavid, 1988b, Howeler y Cadavid, 1990.

Las Tablas 4-25 y 4-26 registran el efecto de la aplicación de K sobre la calidad de las raíces tuberosas, en términos de contenido de ácido cianhídrico total (mg/kg). Es bien notorio el efecto positivo al reducir el contenido a medida que se incrementa la tasa de aplicación de K.

Tabla 4-25. Efecto de la fertilización potásica sobre el contenido de ácido cianhídrico-(HCN) total (mg/kg) de clones^a de yuca en un suelo de Bariloche, Cauca, Colombia.

Clones	HCN total primer año				HCN total quinto año			
	Niveles de K (kg/ha)				Niveles de K (mg/kg)			
	0	50	100	200	0	50	100	200
MCol 1505	297	183	171	216	329	259	243	210
CM 489-1	217	173	157	140	264	263	225	179
CM 507-37	671	401	406	401	1169	1049	674	780
CM 523-7	281	163	142	134	331	313	370	265
HMC 1	206	187	163	141	202	173	193	188
HMC 2	307	149	134	112	449	423	370	353
CMC 40	185	140	177	182	124	163	147	103
MCol 1684	765	570	523	647	986	1074	996	754
MVen 25	1034	955	812	926	1969	1625	1462	1403
Promedio	440	325	298	322	647	593	520	331
LSD 5% K	75				48			

^a Evaluación de 14 clones de yuca.
Fuente: Extractada de El Sharkawy y Cadavid, 2000.



Tabla 4-26. Efecto de la fertilización potásica sobre el contenido de ácido cianhídrico-(HCN) total (mg/kg) de clones de yuca en un suelo de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia (1995-1996).

Clones	Contenido de HCN total (mg/kg)	
	Cero K	100 kg K/ha
CM 2777-2	213	93
CM 2177-2	203	103
CM 4574-7	1118	636
CM 3306-4	184	119
CM 402-11	438	296
SG 107-35	184	129
CG 1141-1	221	157
CM 4777-2	129	96
CG 165-7	1176	761

La Tabla 4-27 muestra una vez más el efecto positivo y altamente significativo del potasio sobre los rendimientos de raíces en yuca y el efecto depresivo sobre la producción con las siembras continuas por más de tres años por la alta extracción del nutrimento en el suelo como se comentó anteriormente.

Tabla 4-27. Efecto de la aplicación de potasio sobre el rendimiento de raíces frescas (t/ha) en tres suelos de Colombia sembrados con yuca por varios años.

Localidad	Cultivar	Rendimiento raíces frescas (t/ha)									Siembras continuas Años
		Primer año			Tercer año			Último año			
		Nivel de K (kg/ha)			Nivel de K (kg/ha)			Nivel de K (kg/ha)			
		0	50	100	0	50	100	0	50	100	
Bariloche, Cauca	CM 523-7	45.4	59.7	55.5	30.3	44.4	53.5	18.2	31.1	36.2	5
Quilichao, Cauca	CM4574-7	37.0		43.0	15.3		36.2	12.2		25.5	4
Media Luna, Magdalena	MCol1505	20.6	24.6	23.7	12.4	17.8	17.4	13.2	20.1	23.7	6
Promedio		34.3	42.2	40.7	19.3	31.1	35.7	14.5	25.6	28.5	

Como podemos observar, el potasio es un elemento esencial y limitante en el cultivo de la yuca. Muchos suelos del país tienen contenidos medios a altos de K y, sin embargo, con las siembras continuas de este cultivo por varios años, las reservas de este nutrimento en el suelo se agotan por la alta extracción y, en consecuencia, los rendimientos se reducen y se aumenta la erosión química de estos suelos. Esto lo podemos observar en el siguiente ejemplo (Tabla 4-28) en un suelo de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia, con contenido de K de 0.30 cmol/kg en suelo virgen sin cultivar y que después de cuatro ciclos continuos de yuca quedó en 0.07 cmol/kg, muy por debajo del nivel crítico reportado en la literatura (Cadavid, 1995, 2002a).



Tabla 4-28. Respuesta de varios cultivares de yuca a las aplicaciones de K a través de cuatro ciclos continuos en suelos de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia.

Cultivar	Rendimiento raíces secas (t/ha)							
	Cero potasio				100 kg/ha potasio			
	1	2	3	4	1	2	3	4
CG 1141-1	9.5	6.9	5.8	4.9	11.8	12.0	7.5	9.4
CM 2177-2	6.8	6.5	4.1	3.6	9.8	7.0	7.8	4.8
CM 2766-5	12.3	3.5	3.8	3.4	14.9	8.1	4.9	6.4
CM 3306-4	11.5	3.8	4.6	3.5	14.2	10.3	9.8	7.3
CM 3311-3	11.1	6.0	5.1	2.9	12.2	9.2	8.0	6.2
CM 3372-4	10.0	7.8	4.4	2.4	13.2	12.8	10.3	6.6
CM 4574-7	15.3	5.7	5.4	4.1	17.9	9.8	13.9	9.1
CM 4777-2	14.8	5.6	10.0	4.5	16.7	13.4	13.4	10.5
CG 165-7	8.6	6.2	6.3	4.4	13.4	12.1	9.5	8.4
CM 2777-2	9.7	7.9	4.7	2.2	12.9	13.3	10.8	7.7
Promedio	11.0	6.0	5.4	3.6	13.7	10.8	9.6	7.6
% PR		45.5	50.9	67.3		21.2	29.9	44.5

%PR: Porcentaje de pérdida de rendimiento.

Calcio

Aunque el calcio es un elemento importante en varios procesos metabólicos del cultivo de la yuca y su extracción es intermedia después del nitrógeno y del potasio, para su correcta aplicación es necesario considerar el nivel crítico del nutrimento en el suelo (0.25 cmol/kg) y, en los criterios para encalar, es necesario tener en cuenta el porcentaje crítico de saturación de aluminio para este cultivo (80%). Un sobreencalamiento en yuca es perjudicial para el cultivo, porque se crea un desbalance nutricional afectando la absorción de potasio, zinc y manganeso debido a una inhibición. Por ello, en yuca no es necesario aplicar cal como correctivo y por encima de 1 t/ha, sino más bien, como portador de calcio y/o magnesio, si se aplica una cal dolomita. Con 500 kg/ha es suficiente en muchos suelos ácidos con pH menor de 5.5 y con bajos contenidos de Ca y Mg. Esta cantidad nos aporta alrededor de 100 kg/ha de Ca y 50 kg/ha de Mg considerados normales para el cultivo de la yuca (Figura 9) según Cadavid et al, 1977.

Los estudios sobre la respuesta de la yuca a la fertilización completa con abonos químicos y/u orgánicos han sido de gran ayuda, y se observa en sus resultados el efecto benéfico y altamente significativo de la aplicación de éstos sobre la producción y la recuperación de la fertilidad del suelo (Cadavid, 1995, 2002a, 2006). Los datos consignados en las Tablas 4-29 a 4-35 y (Figuras 4-24 y 4-25) confirman estos resultados.

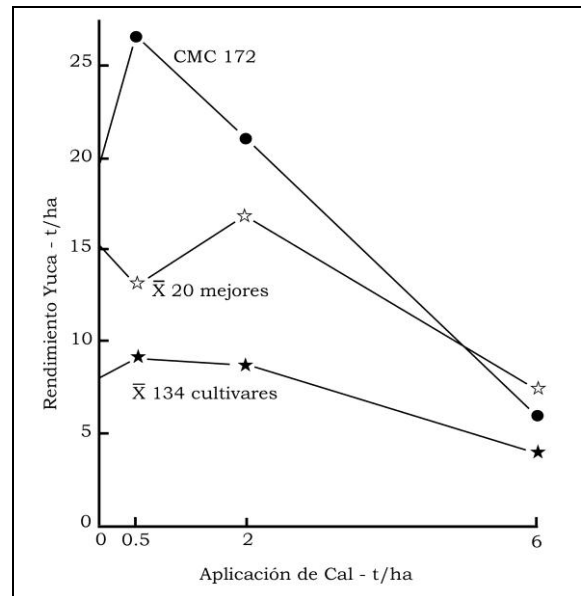


Figura 4-24. Respuesta a las aplicaciones de cal en un suelo de Carimagua, Llanos Orientales de Colombia, Meta, Colombia.

Fuente: Cadavid et al., 1977

Tabla 4-29. Efecto de las aplicaciones de NPK sobre el rendimiento de raíces frescas de yuca (t/ha) en tres localidades de la región de Mondomo, Cauca, Colombia.

Fertilización			Rendimiento raíces frescas (t/ha)		
			Agua Blanca	Telecom	Tres Quebradas
N0	P0	K0	12.7	13.0	10.2
N100	P100	K100	24.8	27.1	23.2
N200	P200	K200	28.0	27.3	29.9

Fuente: Extractada de Cadavid y Howeler, 1984; Cadavid, 1995,2002a.

Tabla 4-30. Respuesta de la yuca sobre el rendimiento y la calidad de raíces de yuca en un suelo arenoso en Media Luna, Magdalena, Colombia, sembrado por ocho años consecutivos¹.

Tratamientos	Sin fertilización		Con fertilización ²	
	Raíces secas	HCN	Raíces secas	HCN
	(t/ha)	mg/kg	(t/ha)	mg/kg
LC	2.19	227	5.51	158
LC + mulch ³	4.66	149	5.92	146
CL	1.93	224	4.42	150
CL + mulch	4.66	158	6.11	140
LSD 5%			0.26	12

LC: labranza convencional (un pase de rastrillo pulidor).

¹ Promedio de ocho años consecutivos para rendimiento y cinco años para HCN

² Fertilización: 50 kg N, 21 kg P, 41 kg K/ha respectivamente como 15-15-15 (330 kg/ha) aplicados a los 30 y 60 días después de siembra en banda sencilla.

³ Mulch de Panicum maximum (pasto guinea) aplicado tres meses después de siembra a razón de 12 t/ha de material seco (1.2 kg/m²).

Fuente: Extractada de Cadavid et al., 1998.



Tabla 4-31. Respuesta de la yuca a las aplicaciones de NPK durante un ciclo de seis años consecutivos en un suelo de La Colorada, Magdalena, Colombia.

Fertilización			Rendimiento raíces frescas (t/ha)					
			Ciclos					
N	P	K	1	2	3	4	5	6
0	0	0	17.8	7.8	10.6	11.6	12.5	8.8
50	50	50	20.1	15.6	16.1	16.4	19.2	19.9
100	100	100	23.7	16.6	17.4	15.7	24.1	23.7
% pérdida de rendimiento ¹				61.2	47.3	42.3	37.8	56.2

¹ Con relación al nivel 50-50-50 del primer año.

Tabla 4-32. Efecto de la aplicación de porquinaza y abono químico en el cultivo de la yuca en suelos de los Llanos Orientales, Meta, Colombia.

Tratamiento	ICA Catumare (CM 523-7)				Corpoica Reina (CM 6740-7)			
	Raíces frescas t/ha	Follaje fresco t/ha	Raíces MS %	Raíces secas t/ha	Raíces fresca t/ha	Follaje fresco t/ha	Raíces MS %	Raíces secas t/ha
Sin abono	12,4	11.6	36.8	4.7	14.9	10.0	33.3	5.0
1.5 t/ha porquinaza	16.7	15.8	39.1	6.5	21.0	14.2	34.6	7.3
3.0 t/ha porquinaza	19.1	17.1	38.3	7.3	21.3	15.2	33.9	7.2
Abono químico	21.4	19.0	37.9	8.1	24.7	15.5	33.9	8.4
Porquin + químico	21.2	15.5	38.2	8.1	27.6	15.8	35.0	9.7

Fuente: Cadavid y Albán, 2006

Tabla 4-33. Efecto de la aplicación de gallinaza y abono químico en el cultivo de la yuca cultivar HMC 1 en un suelo de Montenegro, Quindío, Colombia.

Tratamiento	Raíces frescas t/ha	Follaje fresco t/ha	Raíces MS %	Raíces secas t/ha	Follaje seco t/ha
Testigo	34.5	7.5	36.7	12.7	2.8
1.5 gallinaza Buga	54.7	16.0	38.3	21.0	6.6
3.0 t/ha gallinaza Buga	41.0	10.9	39.8	16.3	4.6
1.5 t/ha gallinaza Calarcá	47.9	11.8	38.3	18.4	5.1
3.0 t/ha gallinaza Calarcá	43.8	10.8	39.8	17.4	4.2
Fórmula regional	50.8	10.5	39.8	20.2	4.0
Fórmula Clayuca	50.0	15.0	40.9	20.4	4.9

Fuente: Cadavid y Albán, 2006



Tabla 4-34. Efecto de la aplicación de lombricomposteo y abono químico sobre la producción en el cultivo de la yuca en un suelo de El Zulia, Norte de Santander, Colombia.

Cultivares	Producción de raíces y follaje fresco (t/ha)					
	Sin abono		Abono químico		Abono orgánico	
	Raíces	Follaje	Raíces	Follaje	Raíces	Follaje
M Tai 8	30.0	6.1	37.1	8.1	40.8	11.8
CM 4843-1	23.1	5.9	39.1	9.8	43.8	12.4
CM 4919-1	19.0	2.6	24.9	3.2	33.7	4.8
CM 3306-4	19.4	7.1	26.6	8.6	23.9	10.2
CM 4365-3	22.4	6.9	32.0	10.9	34.9	11.9
Sardinata	14.3	9.1	19.4	12.0	26.1	15.3
Promedio	21.4	6.3	29.9	8.8	33.9	11.1

Fuente: Cadavid y Albán, 2006

Tabla 4-35. Respuesta de la yuca a la siembra y a la fertilización mecanizada en suelos del departamento del Atlántico, Colombia.

Tratamiento*	Rendimiento toneladas por hectárea			
	Peso raíces frescas	Peso follaje fresco	% materia seca de raíces	Peso raíces secas
1	18.6 b	18.8 c	28.0 a	5.22 b
2	28.6 ab	38.0 a	30.4 a	8.65 a
3	30.2 a	19.4 c	29.7 a	8.92 a
4	29.2 ab	23.1 bc	28.3 a	8.29 ab
5	35.2 a	31.4 ab	29.6 a	10.41 a
Promedio	28.3	26.1	29.2	8.3

* Tratamientos:

1. Siembra mecanizada, cero fertilización.
2. Siembra manual, fertilización manual a los 45 días con mezcla de DAP, Úrea, KCl.
3. Siembra mecanizada, fertilización mecanizada a la siembra y fertilización manual a los 45 días con mezcla de DAP, Úrea, KCl.
4. Siembra mecanizada, fertilización mecanizada a la siembra con mezcla de DAP, Úrea, KCl.
5. Siembra mecanizada, fertilización mecanizada a la siembra con 15-15-15.

Fuente: Cadavid, 2004

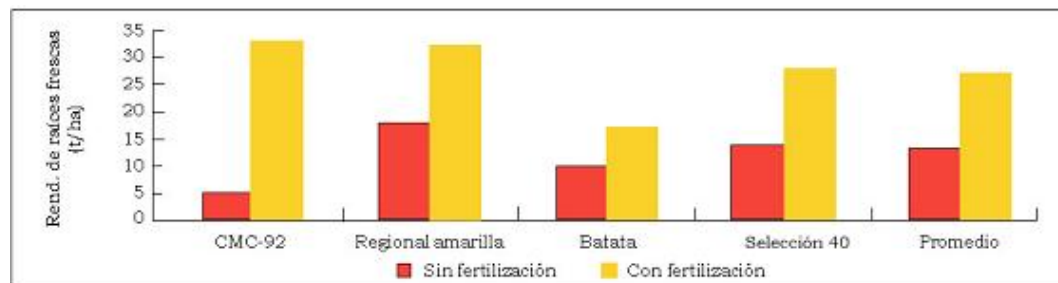


Figura 4-25. Efecto de la fertilización química sobre el rendimiento de cuatro cultivares de yuca en suelos preparados con buey (una pasada) en Mondomo, Cauca, Colombia.

Fuente: Cadavid L, 1995.

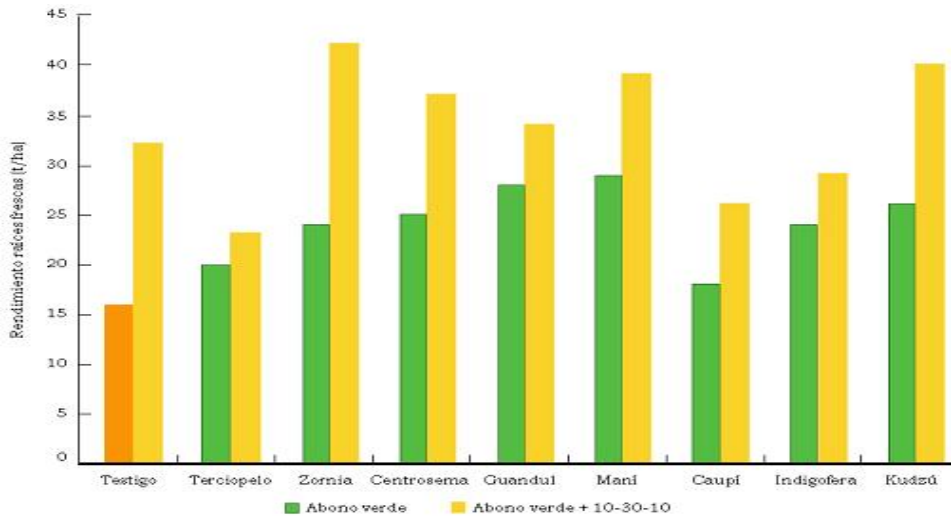


Figura 4-26. Efecto de la incorporación de abonos verdes y de abonos verdes más 10-30-10 sobre el rendimiento del cultivar MCol 1684 en un Ultisol agotado de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia, 1984. Fuente: Cadavid L, 1987

Experiencias de la Fertilización del Cultivo de la Yuca en Sabanas Colinadas de Sucre, Bolívar y Córdoba.

Planes de abonamiento utilizados

En cultivos tradicionales, pequeños o grandes agricultores no fertilizan, pues consideran que no hay respuesta y que es muy costoso; sin embargo, hay desconocimiento de cómo hacerlo. La diferencia entre ellos está en asistencia técnica y apoyo en selección del terreno, análisis de suelos, preparación de suelos, siembra, calidad y manejo de semilla, respuesta del cultivo a la fertilización y manejos de malezas, plagas y enfermedades.



Figura 4-26. Desbalance en desarrollo y producción por acidez, textura y falta de agua. Fuente: López LM (archivo personal).



En los últimos 5 años la empresa privada, con el apoyo organismos de capacitación y comercialización de yuca industrial, ha logrado demostrar que la implementación de los resultados de la investigación generada y documentada sobre el manejo de la fertilización y nutrición del cultivo tiene respuesta positiva y se traduce en incrementos importantes de rendimiento ampliamente rentables, donde el uso de la fertilización mineral era prácticamente nula. Con el agravante de tener confusiones en el uso de abonos orgánicos como suministro total de los requerimientos nutricionales del cultivo y olvidando su gran aporte como herramienta principal en el mejoramiento y la conservación de algunas características físicas, químicas y biológicas del suelo.

En los agricultores más tecnificados, los planes de fertilización dependen del análisis del suelo y la característica de cada finca, pero en general, se manejan relaciones promedio de nutrientes que están en 25-50 kg de Nitrógeno, 25 – 50 kg de P_2O_5 , 100 kg de K_2O , 5-19 kg MgO , 10 kg Azufre , 0.75-1 kg Zinc, 0.5 kg de Boro.

De acuerdo con lo anterior, se han definido algunos planes de fertilización basados en los resultados de los análisis, niveles críticos de nutrientes, los requerimientos nutricionales del cultivo y el historial productivo de las fincas.

Aplicación de las dosis unitarias de fertilizante en dos modalidades, fraccionando el Fósforo y el Potasio a la siembra, y entre 45-60 días del brote el resto de la dosificación de nutrientes, fuentes con alta solubilidad en agua como Fosfato Diamónico, Fosfato Monoamónico, Cloruro y Sulfato de Potasio, fertilizantes nitrogenados Ureicos y/o Sulfonitratos de Amonio, Sulfato de Zinc y Boro.

Las aplicaciones pueden ser en banda o localizada con chuzo a 10 cm del tallo y 10-15 cm de profundidad, para eliminar el riesgo de pérdida por lavado o escorrentía a través del perfil, y garantizar igual la cantidad de producto a cada planta.



Figura 4-27. Correcta e incorrecta aplicación de fertilizantes.

Fuente: López LM (archivo personal).

La cantidad depende de los cálculos para cada finca y la densidad de plantas por hectárea establecidas, se manejan entre 350-400 kg de fertilizante total por hectárea. Se recomienda aplicar los abonos orgánicos en la fase de preparación de suelos, en la última rastrillada. Para aplicaciones de Cal y Yeso, se recomiendan de acuerdo a la saturación de Aluminio del suelo.

El uso de fertilizantes foliares depende de la información del análisis de suelo, teniendo en cuenta que el Zinc, el Cobre y el Boro son los nutrientes con mayor respuesta en el cultivo de la yuca. Estos pueden ser



suministrados con productos basados en aminoácidos con Potasio, Nitrógeno o Fósforo. Algunos de estos planes y recomendaciones se presentan a continuación:

Plan 1.

Aplicar incorporado a chuzo 25 g/planta del grado 11-6-33-2 a los 45-65 días del brote del cultivo a 15-20 cm de la planta y 8 cm de profundidad. Tapar el hueco para proteger el fertilizante.

Relación nutriente total:

33 (N)-18 (P₂O₅)-99(K₂O)-6(s)

Se debe considerar la aplicación de Azufre y Zinc foliar en fertilizante aminoácido con Potasio.

El grado mezclado anterior corresponde a Nitrasam+Microessentialsz+ KCl g.

Plan 2.

A la siembra, aplicar 8 gr/planta de fertilizante grado 9-30-10-1.5 MgO-9 S-0.75 Zn-0.2 B

Relación aproximada de nutrientes en kg/ha

9 (N)-30 (P₂O₅)-10 (K₂O)-1.5 MgO-9 (S)-0.75 Zn-0.2 B

Realizar II aplicaciones entre los 55-65 días de nacido el cultivo 25 gr/planta del fertilizante

Grado 14-0-28-6-5

Relación aproximada de nutrientes en kilogramos/ha:

46 (N)-0-90(K₂O)-19 (MgO)-15 (S)

Poner el fertilizante a chuzo a 10 cm de la planta y tapar el hueco

Fertilizante total/ha: 430 kg

Relación nutricional aportada total/ha en kg:

55 (N)-30 (P₂O₅)-100 (K₂O)-20.5 (MgO)-24 (S) -0.75 (Zn) -0.2 (B)

Plan 3.

Plan de fertilización recomendado

Aplicar entre los 45-50 días de nacido:

2 bulto de Cloruro de Potasio (KCl gr)+

1.5 bultos de Nutri 15 +

1 bulto de 17-6-18-2 (producción)

0.5 bulto de Korn Kali-B

Grado resultante en kilos de nutrientes:

19.75 (N)-14.25 (P₂O₅)-90.25 (K₂O)-3.75 (MgO)-5 (S)-0.237 (B)-0.125 (Zn)

Mezclar todos los fertilizantes en forma homogénea

Dosis/planta: 250 kg de fertilizante/13.143 plantas = 19 g

Aplicar incorporado a chuzo y a un lado de la base de la planta 19 g de la mezcla fertilizante por planta.

Total fertilizante lote Corea 1: 31.5 bultos

Nutri 15: 9.45 bultos

KCl g: 12.6 bultos

17-6-18-2 : 6.3 bultos

Korn Kali-B: 3.15 bultos

Fertilización foliar complementaria:

Fertilizante con aminoácidos para manejo de estrés + fertilizante foliar con Fósforo y Zinc, según recomendación del asesor técnico.

Los rendimientos promedio obtenidos en fincas de pequeños, medianos y grandes productores permiten deducir unos incrementos en rendimiento de raíces frescas de 35-40% de incremento en rendimiento con el uso de la fertilización balanceada.

Dependiendo del costo y suministro de los fertilizantes, los valores de la fertilización son pagados con 3 t de yuca fresca a \$180.000.



BIBLIOGRAFÍA

- Cadavid LF; Calvo FA; Howeler RH. 1977. La interacción de cal con fósforo y elementos menores en la producción de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en Oxisoles de los Llanos Orientales de Colombia. Suelos Ecuatoriales 8(1): 144-150.
- Cadavid LF. 1980. El uso de rocas fosfóricas en el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Centro internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia, 38 p.
- Cadavid LF; Howeler RH. 1982. Fertilización de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y su efecto a largo plazo sobre la fertilidad del suelo. Suelos Ecuatoriales 12 (1): 59-75.
- Cadavid LF; Howeler RH. 1984. La fertilización de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en la región de Mondomo y Pescador, Cauca. Suelos Ecuatoriales 14 (1): 199-207.
- Cadavid LF. 1987. Abonos verdes en suelos agotados dedicados a la siembra de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Suelos Ecuatoriales 17 (2): 178-183.
- Cadavid LF. 1988a. Efecto de fertilización y humedad relativa sobre la absorción y distribución de nutrimentos en yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Tesis (Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira, Colombia. 290 p.
- Cadavid LF. 1988b. Respuesta de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) a la aplicación de NPK en suelos con características diferentes. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira, Colombia. 199 p.
- Cadavid LF. 1995. Manejo productivo de suelos de ladera cultivados con yuca (*Manihot esculenta* Crantz). En: Seminario fertilidad del suelo y su potencial productivo, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS), Bogotá, Colombia. P 134-143.
- Cadavid LF; El-Sharkawy MA; Acosta A; Sánchez T. 1998. Long term effects of Mulch, fertilization and tillage on cassava grown in sandy soils in northern Colombia. Fiel Crop Research 57: 45-56.
- Cadavid LF. 2002a. Suelo y fertilización para la yuca. En: La yuca en el Tercer Milenio. Sistemas modernos de Producción, Procesamiento, Utilización y Comercialización. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (CLAYUCA) Palmira, Colombia. p 76-103.
- Cadavid LF. 2002b. Desórdenes nutricionales. En: Guía Práctica para el Manejo de Enfermedades, Plagas y las Deficiencias Nutricionales de la Yuca. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (CLAYUCA) Palmira, Colombia. p 3-18.
- Cadavid LF. 2004. Respuesta de la Yuca (*Manihot esculenta* Crantz) a la siembra y a la fertilización mecanizada en suelos del departamento del Atlántico. Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (CLAYUCA) Pamira, Colombia. 18 p.
- Cadavid LF; Albán AA. 2006. Empleo de fuentes orgánicas en la fertilización del cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en suelos de Colombia. Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (CLAYUCA) Pamira, Colombia. 10 p.



- Caicedo G JA. 1993. Respuesta de cuatro cultivares de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) a la modificación del estado hídrico del suelo. Tesis (Pregrado). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira, Colombia. 177 p.
- Calderón SF. 1991. Concepción moderna de la nutrición vegetal. En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS), Bogotá D. C, Colombia. 323 p
- Cock JH; El-Sharkawy MA. 1988. Physiological characteristics for cassava selection. *Experimental Agriculture* 24(4): 443-448.
- Cours G; Fritz J; Romahadimby G. 1961. El diagnóstico felodérmico de la mandioca. *Fertileté* 12: 3-20.
- El-Sharkawy MA; Cadavid LF; Mejía de Tafur S; Caicedo JA. 1998. Genotypic differences in productivity and nutrient uptake and use efficiency by cassava as influenced by prolonged water stress. *Acta Agronómica* 48 (1-2): 9-22.
- El-Sharkawy MA; Cadavid LF; Mejía de Tafur S. 1988. Nutrient use efficiency of cassava differs with genotype architecture. *Acta Agronómica* 48 (1-2): 23-32.
- El-Sharkawy MA; Cadavid LF. 2000. Genetic variation within cassava germplasm in response to potassium. *Experimental Agriculture* 36 (3): 323-334.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1997. Data Base. <http://www.fao.org>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2005. Data Base. <http://www.fao.org>
- Howeler RH. 1981. Nutrición mineral y fertilización de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 55 p.
- Howeler RH. 1983. Análisis del tejido vegetal en el diagnóstico de problemas nutricionales. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira, Colombia. 23 p.
- Howeler RH; Cadavid LF. 1983. Accumulation and distribution of dry matter and nutrients during a 12-month cycle of cassava. *Field Crops Research* 7: 123-139.
- Howeler RH. 1986. Potassium nutrition of cassava. En: Munson RD., ed. International Symposium in Agriculture, Atlanta, Cainenville, Wisconsin, USA. American Society of Agronomy. Pp 819-841.
- Howeler RH; Ballesteros D. 1987. El cultivo de la yuca en los Llanos Orientales de Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira, Colombia. 30 p.
- Howeler RH; Cadavid LF. 1990. Short and long-term fertility trials in Colombia to determine the nutrient requirements of cassava. *Fertilizer Research* 26: 61-80.
- Inpofos (Instituto de la Potasa y el fósforo). 1993. Diagnóstico del estado nutricional de los cultivos. Quito, Ecuador. 55 p.
- Kramer PJ. 1989. Relaciones hídricas de suelos y plantas, una síntesis moderna. Editorial Harla, México. 538 p.



- López JM. 1994. Fertilidad del suelo y calidad nutricional de estacas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Tesis (Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira, Colombia. 102 p.
- López JM; El-Sharkawy MA. 1995. Increasing crop productivity in cassava by fertilizing production of planting material. *Field Crops Research* 44: 151-157.
- Lorenzi JO. 1978. Absorcao de macronutrientes e acumulacao de materia seca para duas cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Estado de Sao Paulo, Brasil, Escola Superior de Agricultura Luis Quiroz da Universidad de Sao Paulo. 92 p.
- MADR (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural). 1996. La economía de la yuca en Colombia. Bogotá, Colombia. 84 p.
- MADR (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural); URPA'S; UMATAS. 2005. Evaluaciones Agropecuarias. Sistemas de Información, Bogotá, Colombia.
- Malavolta E; Vitti GC; De Oliveira SA. 1989. Avaliacao do estado nutricional da plantas: principios e aplicacoes. Associacao Brasileira para Pesquisa de Potassa e do Fosfato (POTAFOS), Piracicaba, Brasil. 201 p.
- Obigbesan GO. 1981. Nutritional problems in Root Production in a Tropical Country. *Bertrage zur Tropischen Landoeertsehaft und Veterinarmedizin*, Ibadán, Nigéria 16 (3): 289-297.
- Pellet D; El-Sharkawy MA. 1993. Cassava varietal response to phodphorus fertilization. I. Yield, biomass and gas exchange. *Field Crops Research* 35: 1-11.
- Perim S. 1982. Efeitos de niveis de fósforo e de calcario no-crecimiento e na acumulacao de P, Ca, Mg e Zn pela mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em casa de vegetacao. Tesis (Maestría). Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras-Minas Gerais, Brasil. 100 p.
- Ramírez A. 1978. Fertilización de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz): Informe de progreso 1978. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Bogotá, Colombia. pp. 104-108.
- Scheid LA; Aparicio. 1978. Curso intensivo para capacitacao de tienicos na cultura da mandioca: consideracoes sobre colagem e adubacao química para a cultura da mandioca. Escola Superior de Agricultura, Lavras, Brasil 33 p.
- Sittibusaya O; Kurmarohita K. 1978. Soil fertility and fertilization. Bangkok, Thailand, Department Agricultura. 18 p.
- Solórzano NV. 1975. Efectos del cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) sobre los nutrimentos del suelo. Tesis (Maestría), Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 101 p.



5. CONTROL DE MALEZAS

*Fernando Calle Calle**

Desde el punto de vista del control de malezas, la yuca es un cultivo que relativamente ha sido poco estudiado. Dada su rusticidad, se ha creído que este cultivo puede tolerar, sin mayor perjuicio, la competencia de las malezas; sin embargo, se ha observado en Colombia que la presencia de malezas durante los primeros 60 días del ciclo de cultivo causa una reducción de los rendimientos de, aproximadamente, 50% en comparación con yuca libre de malezas durante todo el ciclo.

Las malezas representan un problema de gran importancia en la mayoría de los cultivos comerciales y, en el caso particular de la yuca, suelen ser un factor determinante en el desarrollo de la planta y en su posterior rendimiento.

La importancia de las malas hierbas en la producción de alimentos y su control está claramente documentado y sustentado por pruebas evidentes, de manera que, para lograr una producción de calidad económicamente rentable, se debe realizar un adecuado control por las pérdidas que ocasionan las malezas. Esto es muy importante, tanto para la producción de materiales genéticos de alto rendimiento, como en la integración en los diseños de paquetes tecnológicos.

En el caso particular de la yuca, este problema es de tal magnitud que a veces representa 30% o más de los costos de producción.

Métodos de Control

En la yuca, como en otros cultivos, existen diferentes opciones para controlar las plantas competidoras. El control debe ser sistemático e integrado. Se utilizan los controles cultural, manual, mecánico y químico, y se conocen combinaciones de estos métodos, ya que no existe uno que se adapte a todos los problemas.

Control cultural

Este método agrupa prácticas específicas, que logran hacer que el cultivo sea más competitivo que las malezas. La selección adecuada del cultivar, el uso de “semilla” o estacas de buena calidad, la óptima densidad de siembra y la protección del cultivo son las prácticas agronómicas más destacadas dentro de este sistema de control.

Control manual

Como consecuencia del lento crecimiento inicial de la planta de yuca, es necesario realizar varias deshieras con implementos manuales, hasta cuando el cultivo cierre completamente e impida el desarrollo de las malezas por la reducción en la entrada de la luz. Este método es utilizado en plantaciones pequeñas cuando existe mano de obra disponible y cuyos costos no sean muy elevados.

Control mecánico

Generalmente, este método es utilizado en combinación con el control manual o químico. Consiste en la utilización de herramientas (cultivadoras, rotativas, ganchos) tiradas por tractores o animales que pasan entre

*Ingeniero Agrónomo, Programa de Yuca, CIAT. E-mail: f.calle@cgiar.org



las hileras y caballones; se inicia cuando el cultivo tiene entre 15 y 30 días de plantado y se practica hasta cuando la cobertura del mismo lo permita.

Control químico

Este control se realiza utilizando herbicidas preemergentes, los cuales evitan el crecimiento de las malezas por un período que oscila de 45 a 50 días, durante el cual el follaje de la yuca aún no ha cerrado. Esta situación de insuficiencia del control químico, en relación con el crecimiento y desarrollo de la yuca, hace necesario que el productor tenga que hacer deshierbas posteriores.

La crítica situación de escasez de mano de obra y su elevado costo hacen que actualmente el control químico, gracias a las ventajas que presenta, cobre mayor importancia y sea una opción práctica y económica, sobre todo en programas de control de malezas de grandes plantaciones de yuca.

Herbicidas disponibles

Para el control químico de las malezas en el cultivo de la yuca se dispone de varios productos con acción preemergente y algunos con acción posemergente, de fácil consecución en el mercado local, y cuya selectividad al cultivo varía entre mediana y alta (Tabla 5-1).

Tabla 5-1. Herbicidas y sus combinaciones para el control de malezas en yuca^a.

Producto		Características			
Nombre comercial	Nombre técnico	Selectividad	Epoca de aplicación	Dosis producto comercial/ha	Tipo de malezas controladas
Karmex	Diurón	M	Pre.	2.0-3.0 kg	Hoja ancha
Lazo	Alaclor	A	Pre.	3.0-4.0 l	Gramíneas
Cotorán	Fluometurón	M	Pre.	4.0-5.0 l	Hoja ancha
Goal	Oxifluorfén	M	Pre.	2.0-4.0 l	Hoja ancha/gramíneas
Sencor	Metribuzín	M	Pre.	1.0-1.5 l	Gramíneas
Afalón	Linurón	M	Pre.	2.0-3.0 kg	Hoja ancha/gramíneas
Treflán	Trifluralina	A	Psi.	2.5-3.5 l	Hoja ancha/gramíneas
Dual	Metolaclor	A	Pre.	3.0-4.0 l	Gramíneas
Roundup	Glifosato	No selectivo	Pos.	2.0-3.0 l	Hoja ancha/gramíneas
Basta	Glufosinato	No selectivo	Pos.	1.0-3.0 l	Hoja ancha/gramíneas
Fusilade	Fluazifop	A	Pos.	1.0-3.0 l	Gramíneas
Gramoxone	Paraquat	No selectivo	Pos.	2.0-3.0 l	Hoja ancha/gramíneas
Karmex + Lazo		M	Pre.	1.0-1.5 + 1.5-2.0	Hoja ancha/gramíneas
Cotorán + Lazo		M	Pre.	1.0-2.5 + 1.5-2.0	Hoja ancha/gramíneas
Goal + Lazo		M	Pre.	1.0-2.0 + 1.5-2.0	Hoja ancha/gramíneas
Afalón + Lazo		M	Pre.	1.0-1.5 + 1.5-2.0	Hoja ancha/gramíneas
Karmex + Dual		M	Pre.	1.0-1.5 + 1.5-2.0	Hoja ancha/gramíneas
Cotorán + Dual		M	Pre.	1.0-2.5 + 1.5-2.0	Hoja ancha/gramíneas
Goal + Dual		M	Pre.	1.0-2.0 + 1.5-2.0	Hoja ancha/gramíneas
Afalón + Dual		M	Pre.	1.0-1.5 + 1.5-2.0	Hoja ancha/gramíneas

a. Dosis menor en suelos livianos y mayor en suelos pesados. M = mediana; A = alta; Pre., Pos. = ver texto; Psi. = presiembra incorporado.



Selección del herbicida

La diversidad de las poblaciones de las malezas que se establecen en los campos es el resultado de su historia agrícola. Para la correcta elección del herbicida preemergente, es necesario reconocer las malezas predominantes antes de la preparación del suelo, y saber cuáles malezas controlan o no controlan los herbicidas presentes.

Las malezas que escapan a la acción del preemergente pueden controlarse con la aplicación de un herbicida posemergente. De igual manera, los agricultores que no aplican a su cultivo tratamientos de control, con frecuencia afrontan infestaciones densas de malezas.

Integración de los Métodos de Control

La yuca es uno de los cultivos para los cuales se hace más necesaria la integración de los métodos de control de las malezas, dado su lento crecimiento inicial que permite el desarrollo vigoroso de éstas.

Los herbicidas preemergentes, en términos generales, sólo controlan las malezas por un período de 45 a 50 días, al término del cual el follaje de la yuca todavía no ha cerrado; por lo tanto, se hace necesario un control adicional de las malezas, que puede hacerse mediante la aplicación de herbicidas posemergentes o por medio de desyerbas manuales.

BIBLIOGRAFÍA

- Baéz J; Antequera R; Ramos J; Gutiérrez W; Medrano C. 1998. Densidad de siembra y control de malezas en el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en siembra directa bajo las condiciones de la planicie de Maracaibo. Revista Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia (Venezuela) 15(5):429-438.
- Carvalho JEB de. 1990. Controle de plantas daninhas em mandioca. Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura (CNPMP), Cruz das Almas (Bahia), Brasil. 38 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1973. Informe anual 1972. Cali, Colombia. p. 75-80.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1976. Informe anual 1975. Cali, Colombia. 63 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1979. Manejo y control de las malezas en el cultivo de la yuca: Guía de estudio para ser usada como complemento de la unidad audiotutorial sobre el mismo tema. Cali, Colombia. 36 p.
- Doll J; Piedrahita W. 1973. Effect of time of weeding and plant population on the growth and yield of cassava. Third Intern. Symp. Trop. Root Crops, Ibadán, Nigeria. 13 p.
- Doll J; Piedrahita W. 1976. Métodos de control de malezas en yuca. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 12 p.
- Girón C; Alfonzo E. 2000. Manejo integrado de malezas en yuca. Agronomía Tropical (Maracay) 50(1):31-40.
- López J; Leinher DE. 1980. Control químico de malezas en policultivos con yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Revista Comalfi 7(1/2):19-28.



Marcano JJ; Paredes F; Segovia P. 1995. Control de malezas en yuca. FONAIAP Divulga (Venezuela) 49:39-40.

Quiñones V; Moreno N. 1995. Control de malezas en yuca en Barinas, Venezuela. Agronomía Tropical (Maracay) 45(1):85-94.

Rodríguez R. 1989. Lucha contra las malezas en el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Ciencia y Técnica en la Agricultura. Protección de Plantas 12(1):91-109.

Rosenstein E. 2001. Diccionario de especialidades agroquímicas: Sección semillas. 11 ed. Editorial PLM, Bogotá D.C., Colombia. p. 2-10.



6. ENFERMEDADES DEL CULTIVO DE LA YUCA

Elizabeth Álvarez*, Germán Llano**

Enfermedades Fungosas

La yuca es afectada por muchas enfermedades fungosas y bacterianas cuya distribución geográfica e importancia económica varían considerablemente. Las enfermedades que causan manchas foliares, necrosamiento del tallo y pudriciones radicales se presentan con mayor frecuencia y se distribuyen más ampliamente, causando pérdidas en rendimiento. A continuación se describen las de mayor relevancia.

Manchas foliares

Manchas foliares inducidas por *Cercosporidium spp.*

Varias especies de *Cercosporidium* causan manchas foliares en la yuca. *Cercosporidium henningsii* Allescher y *Phaeoramularia manihotis* Chupp y Ciferri se consideran las más importantes, tanto por su severidad como por su distribución geográfica. Varios registros (Castaño, 1969; Golato y Meossi, 1966) indican que estos hongos se presentan en ciertas áreas geográficas y durante la época lluviosa.

La mancha parda de la hoja (*C. henningsii*)

- **Importancia.** Esta es, probablemente, la más relevante de todas las enfermedades foliares de la yuca. Tiene una amplia distribución geográfica ya que se ha encontrado en Asia, América del Norte, África y América Latina. De todas las especies de *Cercosporidium spp.* patogénicas de la yuca, ésta parece tener el mayor rango de hospederos, ya que ataca naturalmente a *Manihot esculenta*, *M. glaziovii* y *M. piauhyensis* (Ferdinando et al., 1968; Golato y Meossi, 1966; Powell, 1972).

- **Etiología.** *Cercosporidium henningsii*, el agente causante de la enfermedad, crece en los espacios intercelulares de las hojas y produce estromas de 2 a 6 células de espesor y de 20 a 45 μ de diámetro. En estos estromas se producen conidióforos en fascículos densos. Los conidióforos son de color marrón oliváceo pálido (semioscuros), no ramificados, de punta redondeada, con pequeña o mediana cicatriz esporal, derechos o semicurvos y de 3 a 5 x 10 a 50 μ de tamaño; muy rara vez alcanzan a medir 100 μ de largo y los más largos son poco septados. Son uniformes en su color y anchura. Las conidias son anfigéneas y se producen individualmente sobre el ápice de cada conidióforo; son cilíndricas, erectas o ligeramente curvas, con ambas puntas redondas o con una base corta abocónica y con dos a ocho septas oliváceas pálidas cuyo tamaño es de 4 a 6 (7) x 30 a 60 (85) μ (Powell, 1972).

A veces aparecen peritecios negros (100 μ diámetro) diseminados en el tejido necrótico de la mancha foliar, en el haz de la hoja. Las ascas son alongo-clavadas, con ocho ascosporas, subsésiles y miden 55 a 72 x 10 a 13 μ . Las ascosporas son ovoides, uniseptadas, contraídas en la septa y de 17 a 22 x 5.2 a 6.8 μ de tamaño. La célula de estas ascosporas es de un diámetro mayor que la célula inferior y tiene forma de llama de cirio (Powell, 1972).

Se ha reportado que el estado perfecto de *C. henningsii* es *Mycosphaerella manihotis* Ghesquière Henrard von Sydon (Ghesquière, 1932), información confirmada más tarde por Chevaugéon (1956).

- **Síntomas y epidemiología.** Los síntomas en las hojas de yuca son manchas foliares visibles a ambos lados de las hojas. En el haz, las manchas de color marrón aparecen de manera uniforme, con borde

*Ph.D., Fitopatología, jefe de Patología de Yuca, CIAT, Cali, Colombia. E-mail: e.alvarez@cgiar.org

**Ingeniero agrónomo. E-mail: germanlln@yahoo.com



definido y oscuro. En el envés, las lesiones tienen márgenes menos definidas y hacia el centro de éste, las manchas color marrón tienen un fondo gris-oliváceo debido a la presencia de los conidióforos y de las conidias del hongo. A medida que crecen estas lesiones circulares, de 3 a 12 mm de diámetro, toman una forma irregular y angular, debido a que su expansión está limitada por las venas principales de la hoja.

Las venas que se encuentran dentro del área necrótica presentan color negro. Algunas veces, dependiendo de la susceptibilidad de la variedad, se observa un halo amarillo indefinido o un área decolorada alrededor de las lesiones. A medida que la enfermedad progresa, las hojas infectadas se vuelven amarillas, se secan y después se caen, posiblemente por sustancias tóxicas secretadas por el patógeno. Las variedades susceptibles pueden sufrir defoliación severa y, a veces, total durante la época lluviosa y caliente.

Cuando el viento o la lluvia transportan conidias de las lesiones de tejidos infectados, que se han desprendido de la planta, hacia hojas de una plantación nueva, se presenta allí una infección primaria. Si hay suficiente humedad ambiental, las conidias germinan produciendo tubos germinales ramificados que, con frecuencia, se anastomizan. La penetración se efectúa a través de los espacios intercelulares. En condiciones húmedas y cálidas, la penetración y la infección ocurren, en general, dentro de un lapso de 12 horas, pero los primeros síntomas sólo aparecen después de 12 días de iniciada la infección (Chevaugéon, 1956; Viegas, 1941).

Cuando las lesiones maduran, aparecen estromas de donde emergen conidióforos. Los ciclos secundarios de la enfermedad se repiten durante toda la época lluviosa, cuando el viento o la lluvia transportan las conidias a nuevos tejidos susceptibles de la planta. El hongo sobrevive durante la época seca en lesiones viejas y con frecuencia en las hojas caídas; renueva su actividad con el advenimiento de la época lluviosa y con el crecimiento de nuevas hojas en el hospedero.

Chevaugéon (1956) observó que en una planta de yuca las hojas bajas eran más susceptibles que las hojas más jóvenes. Otros autores han hecho la misma observación pero sin mostrar evidencia investigativa. Sin embargo, se observó que algunas especies (*M. carthaginensis*) y cultivares susceptibles de *M. esculenta* pueden ser atacadas severamente; también se han observado síntomas severos de la enfermedad en hojas jóvenes, pecíolos y aun en frutos de *M. carthaginensis*. Además, se encontró que las plantas que se han “endurecido” por condiciones desfavorables parecen ser más resistentes; sin embargo, no se encontraron diferencias en susceptibilidad entre plantas que crecen en suelos fértiles y aquellas que crecen en suelos pobres (Chevaugéon, 1956).

- **Manejo y control.** Para disminuir la severidad de la infección se recomiendan prácticas agronómicas que reduzcan el exceso de humedad en la plantación (Golato y Meossi, 1966). Se encontró que los fungicidas a base de óxido de cobre y oxiclورو de cobre, suspendidos en aceite mineral proporcionan un buen control químico (Ghama y Meossi, 1971). El mejor control de la enfermedad está en el uso de variedades resistentes; también se han encontrado diferencias significativas en resistencia varietal en África (Chevaugéon, 1956; Umanah, 1970), en Brasil (Viegas, 1941) y en la extensa colección de variedades de yuca del CIAT, Colombia (CIAT, 1972).

La mancha blanca de la hoja (*Phaeoramularia manihotis*)

- **Importancia.** Se encuentra en las regiones yuqueras húmedas y frías de Asia, América del Norte, África tropical y América Latina (Castaño, 1969; Chevaugéon, 1956; CIAT, 1972). En estas zonas, el patógeno puede causar defoliación considerable en variedades susceptibles de *M. esculenta*, la única especie hospedera conocida (Chevaugéon, 1956; Viegas, 1941).

- **Etiología.** *Phaeoramularia manihotis*, el agente causante, forma estromas tenues sobre las lesiones de las hojas infectadas. De estos estromas se producen conidióforos en fascículos sueltos. Los conidióforos emergen a través de los estromas y son, en general, marrón-oliváceos y de color y ancho uniformes; éstos no son ramificados sino geniculados, sub-truncados en la punta, con cicatriz esporal larga y de 3 a 5 x 50 a 200 μ de tamaño. Las conidias hipófilas son hialinas y subhialinas, obclavado-cilíndricas, con puntas claramente redondeadas, septadas 1 a 6, derechas o semicurvas y de 4 a 8 x 20 a 90 μ de tamaño (Powell, 1972).



Esta especie puede distinguirse fácilmente por la producción de conidias hialinas.

La mancha parda es muy similar a la mancha blanca de la yuca; sin embargo, la mancha parda ocurre comúnmente en zonas cálidas no muy húmedas y la mancha blanca en zonas frías y húmedas. Estas diferencias en su distribución geográfica son comunes en África y en América Latina y son, probablemente, el resultado de la diferente respuesta a los respectivos agentes de temperatura y humedad. La temperatura óptima para la germinación de conidias de *C. henningsii* y *P. manihotis* es de 39 y 33 °C, respectivamente, con temperaturas máximas de 43 y 33 °C, respectivamente.

Las conidias de *C. henningsii* parecen germinar con sólo 50% de humedad relativa, y tienen óptima germinación a 90% de humedad relativa; las conidias de *P. manihotis* necesitan humedad de saturación para una germinación normal. Estudios nutricionales revelaron diferencias entre estos dos hongos; *C. henningsii* puede utilizar acetato, citrato y varios aminoácidos, pero no puede utilizar pentosas. Sin embargo, *P. manihotis* utiliza pentosas como fuentes de energía y carbono, pero generalmente no utiliza triosas (Chevaugne, 1956).

- **Síntomas y epidemiología.** Las lesiones causadas por *P. manihotis* son más pequeñas y diferentes en color que las inducidas por *C. henningsii*. Varían de circulares a angulares, por lo general, y son de 1 a 7 mm de diámetro; son blancas y a veces marrón amarillentas. Las lesiones están hundidas en ambos lados de la hoja, hasta la mitad del espesor de la superficie foliar sana. Aunque se pueden distinguir los puntos blancos, las lesiones tienen con frecuencia un borde de color difuso en el envés de la hoja. El borde aparece, a veces, como una línea irregular pardo-violeta, rodeado por un halo marrón o amarillento. El centro de las manchas tiene un aspecto aterciopelado-grisáceo durante la fructificación del patógeno, lo cual ocurre de manera predominante en el envés de la hoja.

La penetración del hongo en el hospedero se lleva a cabo a través de las cavidades estomatales, y la invasión de los tejidos del hospedero ocurre en los espacios intercelulares; cuando las manchas foliares alcanzan aproximadamente 5 a 7 mm de diámetro, se forma un estroma del cual se producen los conidióforos. Los ciclos secundarios de la enfermedad se repiten durante toda la época lluviosa debido a la dispersión de las conidias por el viento o por salpicaduras del agua lluvia. El hongo sobrevive a la época seca en los tejidos viejos infectados y renueva su actividad con el inicio de la estación lluviosa y el nuevo crecimiento del hospedero.

- **Manejo y control.** Las medidas de control recomendadas para esta enfermedad son similares a las de la "mancha parda". No se conocen variedades resistentes específicas, pero las observaciones de campo sugieren su existencia (Lozano, datos sin publicar).

Añublo pardo fungoso (*Cercospora vicosae*)

- **Importancia.** Esta enfermedad se encuentra en zonas donde prevalece la mancha parda. Se presenta en áreas yuqueras cálidas de Brasil y Colombia (CIAT, 1972; Viegas, 1941). El patógeno puede causar defoliaciones severas en cultivares susceptibles. Esta enfermedad no ocasiona mayores pérdidas en Colombia.

- **Etiología.** El hongo no forma estromas pero esporula abundantemente. Los conidióforos son producidos en fascículos coremoides, de color marrón rojizo oscuro y de 4 a 6 x 50 a 150 μ de tamaño. Las conidias son cilindro-obclavadas y miden 4 a 6 x 25 a 100 μ (Chupp, 1953). Se ha registrado *C. vicosae* sólo como patógeno de *Manihot* spp. Esta enfermedad ocurre durante la época lluviosa en áreas yuqueras cálidas, donde la mancha parda es también prevalente. Como su ocurrencia en una misma planta o en una determinada plantación es muy poca y parece estar confinada a las hojas bajas de la planta, su importancia es relativamente baja.

- **Síntomas y epidemiología.** Esta enfermedad se caracteriza por la presencia de manchas foliares grandes, con bordes indefinidos. Cada mancha puede cubrir una quinta parte o más del lóbulo foliar; son de un color marrón uniforme, con el centro grisáceo en el envés debido a los cuerpos fructíferos del agente



causante. La mancha tiene un color marrón uniforme en el haz, mientras que en el envés es marrón pero con centro de fondo grisáceo debido a la presencia de conidias y conidióforos del hongo. La apariencia general de las manchas es similar a la de las inducidas por *Phoma* sp.; sin embargo, las lesiones inducidas por este tienen anillos concéntricos en el haz foliar.

Se puede presentar defoliación en cultivares susceptibles, con mayor severidad al final de la época lluviosa y al final del ciclo vegetativo. Mientras la enfermedad progresa, las hojas se vuelven amarillas, se secan y se caen. Los síntomas de esta enfermedad pueden confundirse con los del añublo bacteriano; se distinguen por las lesiones acuosas causadas por esta última.

- **Manejo y control de la enfermedad.** Se recomienda sembrar cultivares sanos y resistentes, y Emplear prácticas de cultivo para disminuir la humedad de la plantación.

Mancha de anillos circulares (*Phoma* sp.)

- **Importancia.** Esta enfermedad, causada por especies del hongo *Phoma*, aparece comúnmente en las áreas yuqueras frías de Colombia (CIAT, 1972), Brasil (Viegas, 1943a), Filipinas, África tropical e India (Ferdinando et al., 1968). Durante la época lluviosa y cuando la temperatura es menor que 22 °C, la enfermedad puede causar severa defoliación en las variedades susceptibles, casi siempre produciendo muerte descendente en el tallo.

- **Etiología.** El agente causante produce numerosos picnidios superficiales de color marrón oscuro, globosos y sostenidos individualmente o en pequeños racimos sobre hojas o tallos infectados. Los picnidios tienen 100 a 170 μ de diámetro, sus paredes están formadas por células poliédricas y tienen un ostiolo que mide de 15 a 20 μ . Los conidióforos son cortos y hialinos, producen conidias pequeñas (15 a 20 μ), unicelulares, ovoides o elongadas (Ferdinando et al., 1968; Viegas, 1943a). El hongo forma picnidios profusos localizados en anillos concéntricos sobre agar-frijol lima.

- **Síntomas y epidemiología.** La enfermedad se caracteriza por la presencia de grandes manchas foliares de color marrón, generalmente, con márgenes indefinidos. Estas lesiones se encuentran comúnmente en las puntas, en los bordes de los lóbulos foliares o a lo largo de la vena central o de otras venas secundarias. Inicialmente, las lesiones presentan anillos concéntricos hacia el haz de la hoja, los cuales están formados por picnidios de color marrón. Estos anillos no están presentes en las lesiones viejas porque la lluvia arrastra los picnidios maduros. En estos casos, las manchas son de color marrón uniforme, muy parecidas a las causadas por *C. vicosae*. Hacia el envés se producen muy pocos picnidios y, por lo tanto, las lesiones presentan un color marrón uniforme.

Bajo condiciones de alta humedad relativa, las lesiones pueden estar cubiertas por una trenza hifal de color marrón grisáceo. En el envés de las hojas, las nervaduras dentro de las lesiones se necrosan, formando bandas negras que emergen de las manchas. Estas manchas crecen, causando añublo foliar; el hongo invade la hoja infectada y luego el pecíolo, el cual toma una coloración marrón oscura al necrosarse. Las hojas se marchitan y luego caen, produciéndose severa defoliación cuando la variedad o cultivar es susceptible. Estos cultivares pueden presentar muerte descendente durante epifitias y aun muerte total de la planta. Los tallos necrosados toman coloración marrón y frecuentemente aparecen cubiertos de picnidios.

Las observaciones de campo sugieren que las hojas bajas maduras pueden ser más resistentes que las hojas superiores jóvenes. Sin embargo, se ha observado defoliación total acompañada de muerte descendente parcial o total de cultivares susceptibles. Se ha observado también que la aparición de la enfermedad está correlacionada con condiciones favorables para la germinación de las esporas del hongo. Se obtuvo un máximo porcentaje de germinación de esporas entre los 20 y 25 °C; por inoculación artificial sólo se logró infección cuando las plantas inoculadas se guardaron por 48 horas a menos de 24 °C y con humedad relativa del 100% (Lozano, datos sin publicar). Igualmente, bajo condiciones de campo, la enfermedad se encuentra siempre durante la época lluviosa y en áreas en las cuales la temperatura es inferior a los 22 °C.



Se desconoce el mecanismo de supervivencia del hongo durante los períodos secos y calientes. Se sugiere (Viegas, 1943b) que el hongo puede producir su estado sexual en el tallo infectado y en desechos foliares, pero esto aún no ha sido observado ni registrado.

- **Manejo y control.** Hasta ahora no existen medidas de control de la enfermedad, a pesar de que ésta causa considerables pérdidas en áreas bajo condiciones ambientales propicias para su desarrollo. Aunque no hay informes sobre resistencia varietal, en Colombia se ha observado resistencia de campo en plantaciones infectadas naturalmente. Los tratamientos químicos durante la época lluviosa podrían ser igualmente efectivos en aquellas áreas donde la enfermedad es endémica; se usan Carbendazim (3 g/lit de i.a.) y Benomyl (0.6 g/lit de i.a.).

La ceniza de la yuca (*Oidium manihotis*)

- **Importancia.** Esta enfermedad fue registrada por primera vez en Africa, en 1913 (Saccardo, 1913) y desde entonces se ha encontrado en América Latina (CIAT, 1972; Viegas, 1943a) y en Asia (Park, 1934). La enfermedad se caracteriza por la presencia de manchas foliares amarillentas e indefinidas en *M. esculenta*. Aunque se encuentra ampliamente diseminada y ocurre frecuentemente durante la época seca, la enfermedad es considerada de menor importancia porque, generalmente, sólo ataca las hojas bajas, en las que induce poca necrosis.

- **Etiología.** El agente causante ha sido llamado *Oidium manihotis* P. Henn., cuyo estado sexual es *Erysiphe manihotis* (Ferdinando et al., 1968). El micelio del hongo es blanco y produce numerosos haustorios sobre la epidermis del hospedero. Los conidióforos están en posición erecta; son sencillos y su parte superior aumenta tanto en longitud como en anchura, a medida que se forman las conidias. Las conidias son ovales o cilíndricas, unicelulares, hialinas, miden 12 a 20 x 20 a 40 μ y se producen en cadenas basipétalas (Ferdinando et al., 1968; Saccardo, 1913; Viegas, 1943b).

- **Síntomas y epidemiología.** Los primeros síntomas de la enfermedad se caracterizan por la aparición de un micelio blanco que crece sobre la superficie foliar. El hongo penetra en las células del hospedero por medio de haustorios; las células infectadas se vuelven cloróticas formando lesiones amarillentas indefinidas. Dentro de estas zonas amarillentas aparecen con frecuencia áreas necróticas angulares, de color marrón pálido y de diferentes tamaños. En algunas variedades, la enfermedad se detiene en el estado de lesión amarillenta indefinida. Estos síntomas se pueden confundir con aquellos inducidos por insectos y ácaros.

Las hojas maduras, plenamente desarrolladas, parecen ser las más susceptibles al ataque del patógeno, aunque las hojas jóvenes de algunas variedades también presentan con frecuencia síntomas de la enfermedad. La enfermedad aparece generalmente durante la época seca y en las zonas cálidas.

- **Manejo y control.** Aunque un control específico de la enfermedad se considera innecesario, observaciones realizadas indican que parecen existir variedades resistentes (CIAT, 1972). Se ha sugerido (Ferdinando et al., 1968) que la aspersión con compuestos a base de azufre puede controlar la enfermedad.

Superalargamiento (*Sphaceloma manihoticola*)

- **Importancia.** Esta enfermedad ocasiona pérdidas a cultivares susceptibles. Su mayor incidencia se registra durante la época lluviosa, disminuyendo en los períodos secos.

Los perjuicios causados por el superalargamiento son bastante variables, y depende del nivel de resistencia de los cultivares, de las condiciones climáticas, de la concentración del inóculo inicial y del material de propagación contaminado.



Las pérdidas pueden superar el 80% de la producción total en plantaciones jóvenes, mientras que en plantaciones con más de 6 meses no se presentan pérdidas significativas. En Colombia se presenta en los Llanos Orientales, en la Costa Atlántica y en los valles interandinos.

- **Etiología.** Esta enfermedad es causada por el hongo *Sphaceloma manihoticola*, el cual crece inicialmente sobre la epidermis del hospedante; luego de su penetración, crece en los espacios intercelulares de los tejidos de la epidermis y la corteza. El hongo produce giberelinas, las cuales promueven el crecimiento exagerado de los entrenudos de la planta.

Los conidióforos se encuentran, ocasionalmente, en capas compactas formando acérvulos verdaderos, pero también están presentes en capas continuas o discontinuas sobre la superficie de la lesión. Los fascículos de conidióforos son bastante comunes. La superficie de los conidióforos, en las lesiones jóvenes, es continua respecto al margen más externo de las lesiones, frecuentemente rojizas, que progresan bajo la superficie; son fialídicos, a menudo con terminales agudos o con collar, isodiamétricos hasta de tres septas y filamentos, hialinos y oscuros, con $5 \text{ a } 24 \times 1 \text{ a } 5 \mu$, y producen conidias agrupadas lateral o apicalmente entre fascículos o formando una capa continua (Zeigler y Lozano, 1983).

Los fialoconidios se encuentran solitarios; son ovoides, unicelulares, de paredes hialinas y lisas (Molina, 1998). Las conidias son unicelulares y pequeñas con unas dimensiones promedio de $2.5 \text{ a } 6.5 \mu$ de largo por $1 \text{ a } 4.5 \mu$ de ancho. Son elípticas, de pared delgada, hialinas y a menudo con una a dos gúttulas refringentes polares, produciendo frecuentemente conidias secundarias lateral o subapicalmente. La germinación ocurre a partir de tubos germinales producidos a uno o ambos extremos, que se tornan más grandes antes de la germinación (Zeigler y Lozano, 1983).

El hongo puede mutar fácilmente en medios artificiales, produciendo colonias fenotípicamente diferentes de los cultivos originales. Los mutantes son más virulentos que los hongos aislados originalmente en el mismo cultivar. Este hecho señala la posible existencia de razas fisiológicas en la naturaleza o la posibilidad de formar nuevos biotipos o razas, en períodos relativamente cortos (Molina, 1998). Sin embargo, se ha detectado poca variación genética entre los aislamientos (Alvarez y Molina, 1997; Alvarez et al., 2000a; 2001).

- **Síntomas y epidemiología.** El patógeno causa distorsión o enroscamiento de las hojas jóvenes y chancros en las nervaduras (visibles en el envés), en tallos y en pecíolos. El síntoma característico de esta enfermedad es el alargamiento exagerado de los entrenudos del tallo (Zeigler et al., 1980). El tallo afectado es delgado y débil; las plantas enfermas son mucho más altas o raquílicas que las sanas: en la parte verde del tallo, en los pecíolos y en las hojas, se observan deformaciones que están asociadas con la formación de chancros, a menudo con bordes oscuros, los cuales tienen forma de lente y son de diferente tamaño. En las hojas, estos chancros se encuentran localizados a lo largo de las nervaduras primarias o secundarias, y en los tallos pueden ser más difusos. Con frecuencia, las hojas jóvenes no se desarrollan plenamente ni la lámina foliar alcanza una expansión completa; las hojas presentan igualmente manchas blancas irregulares.

A veces ocurre muerte descendente de la planta y muerte parcial o total de la lámina foliar, dando como resultado una defoliación considerable.

La enfermedad se disemina de un lugar a otro mediante el uso de estacas afectadas; los principales focos de infección son, con frecuencia, las socas que crecen en las plantaciones provenientes de desechos de plantas viejas, dejados en el campo después de la cosecha anterior. La enfermedad se difunde rápidamente durante la época lluviosa. Se cree que la diseminación rápida se lleva a cabo mediante la formación de esporas en los chancros que pueden sobrevivir por períodos de más de 6 meses en plantas infectadas que son transportadas por medio de la lluvia y el viento.

- **Manejo y control de la enfermedad.** Se recomiendan las siguientes prácticas:



- El superalargamiento debe manejarse en forma integrada, incluyendo la selección de variedades resistentes.
- Dado que la enfermedad puede diseminarse mediante estacas tomadas de plantaciones afectadas, se debe utilizar siempre semilla sana.
- Tratar las estacas sumergiéndolas en una solución de Difolatan (captafol) o Benlate (benomyl) en dosis de 6 g/lit de producto comercial.
- Rotar el cultivo con gramíneas.
- Plantar la yuca durante períodos de menor precipitación.

La antracnosis de la yuca (Glomerella manihotis)

La antracnosis es una enfermedad que se ha considerado de menor importancia. Se caracteriza por la presencia de manchas foliares hundidas, de 10 μ de diámetro, similares a las causadas por *Cercospora henningsii*, aunque aparecen hacia la base de las hojas, causando, posteriormente, la muerte total de las mismas.

El patógeno ataca también los tallos tiernos causando marchitez y los tallos maduros induciendo chancros (Irvine, 1969). Las hojas nuevas, producidas al comienzo de la época lluviosa, son las más susceptibles. La enfermedad tiende a desaparecer cuando comienza la época seca (Irvine, 1969). Esto concuerda con resultados obtenidos por la inoculación artificial hecha con una suspensión acuosa de esporas del patógeno. La inoculación tiene éxito si la incubación se hace a 100% de humedad relativa durante 60 horas y el hongo deja de invadir el tejido de la planta cuando la humedad relativa baja del 70% (CIAT, 1972).

El organismo causante de esta enfermedad ha sido denominado *Glomerella manihotis* Chev., *Colletotrichum manihotis* Henn. (Vanderweyen, 1962), *Gloeosporium manihotis* (Bouriquet, 1946) y *Glomerella cingulata* (Irvine, 1969). Estos nombres se refieren posiblemente a una misma especie, aunque esto no se ha confirmado.

En Nigeria se registró una antracnosis del tallo causada por un *Colletotrichum* sp. (IITA, 1972). La porción verde de los tallos presentaba depresiones ovals, poco profundas, de color marrón pálido, con un punto de tejido verde normal en el centro. En la porción leñosa de los tallos las lesiones eran redondas, abultadas y en bandas, formando chancros profundos sobre la epidermis y la corteza que, a veces, deformaban el tallo. Su importancia se desconoce, pero su prevalencia, ocurrencia y diseminación son considerables.

La roya de la yuca (Uromyces spp.)

- **Importancia.** Registrada en Brasil y Colombia, esta enfermedad se considera de poca importancia. Aparece al final de los períodos secos causando a veces un tipo de superbrotamiento en el ápice de los tallos (Normanha, 1970).

- **Etiología.** En yuca se han registrado varias especies de agentes patógenos de roya, los cuales se encuentran en diferentes partes del mundo; sin embargo, su incidencia y severidad son bajas. Parece que algunas especies de roya ocurren únicamente donde la temperatura es moderada y el clima lluvioso. Otras especies predominan durante las épocas cálida y seca del año.

- **Síntomas y epidemiología.** Se caracteriza por la formación de pústulas sobre las nervaduras, pecíolos o ramas verdes, de color marrón claro a oscuro, según la edad de la pústula o la clase de fructificación del hongo. Las pústulas maduras muestran alto parasitismo de *Darluka filum*. Algunas veces están rodeadas de un halo clorótico y, generalmente, inducen distorsión de las partes afectadas. El principal agente de diseminación es el viento.

Pudriciones del tallo

En muchas áreas yuqueras no es posible la siembra continua de yuca; es necesario, por tanto, almacenar los tallos para propagación posterior. En tallos almacenados se han observado tres enfermedades que inducen



necrosis (CIAT, 1972); estas enfermedades reducen la viabilidad de las estacas de manera considerable, directa e indirectamente, aumentando su deshidratación y causando necrosis.

Aunque se han reconocido tres agentes diferentes, las enfermedades inducidas por éstos no se diferencian claramente en la mayoría de los casos. Macroscópicamente, estas enfermedades pueden parecer similares, de manera particular durante sus primeras etapas de desarrollo. Además, es posible que se halle presente más de un organismo causante del síndrome total.

Necrosamiento del tallo debido a *Glomerella* sp.

- **Importancia.** Esta enfermedad es la más común de las que inducen pudriciones o necrosamiento en las estacas de yuca almacenadas y ataca igualmente los desechos de tallos viejos que se dejan en las plantaciones de yuca.

- **Etiología.** El organismo causal parece pertenecer a *Glomerella cingulata* (Stonem.) Spaud. Schrenk (Commonwealth Mycological Institute, comunicación personal). Las ascosporas son hialinas, unicelulares y ligeramente curvas. Se cree que la infección ocurre a través de heridas y es favorecida por una alta humedad relativa ambiental.

La relación entre este hongo y *Colletotrichum* sp., causante de la antracnosis en la yuca, no ha sido determinada todavía. Es posible que la aparición de dos tipos de síntomas se deba a dos estados diferentes del mismo organismo.

- **Síntomas.** El necrosamiento de los tallos almacenados aparece primero hacia las puntas y progresa gradualmente hacia el centro del tallo; luego se disemina en todas las estacas. La enfermedad se presenta como una decoloración negra de los haces vasculares; posteriormente, se desarrollan ampollas superficiales que más tarde rompen la epidermis, exponiendo grupos negros de peritecios en un estroma bien desarrollado.

Pudrición seca del tallo y la raíz (*Diplodia* sp.)

- **Importancia.** Se ha encontrado que esta enfermedad ataca el material de propagación de yuca almacenado y los desechos de tallos que se dejan en el campo; su ocurrencia no es tan común como los ataques de *Glomerella* sp.

- **Etiología.** El agente causal de la enfermedad ha sido identificado como *Diplodia manihotis*. Tanto en el hospedero, como en el cultivo artificial, este organismo produce picnidios erumpentes, confluentes, estromáticos y ostiolados. Los conidióforos son cortos y simples, y producen conidias oscuras de dos celdas y ligeramente elongadas al alcanzar la madurez. Se cree que la infección ocurre a través de heridas y es favorecida por alta humedad relativa ambiental.

- **Síntomas y epidemiología.** La enfermedad tiene dos fases. La primera consiste en una pudrición radical que se inicia cuando los suelos están infestados o cuando se usan estacas tomadas de plantas enfermas. El síntoma, similar al inducido por patógenos radicales, consiste en la muerte repentina de la planta causada por el deterioro de las raíces.

La segunda fase comprende la pudrición del tallo ocasionada por la invasión sistémica del hongo desde las raíces o por penetración a través de heridas. La enfermedad se caracteriza por una decoloración negra y por necrosis de los haces vasculares, los cuales se extienden desde las heridas del tallo, que es el sitio de infección. En la epidermis aparecen ampollas bajo las cuales los tejidos internos del tallo se decoloran, presentando apariencia negra o marrón oscura. Las ampollas se rompen mostrando masas de picnidios negros, confluentes. Se puede producir emisión de goma y marchitez parcial o total, y muerte descendente.

El patógeno se disemina a gran distancia cuando se usan estacas de plantaciones afectadas; dentro de la misma plantación, por la acción del viento y la lluvia sobre fructificaciones del hongo, por el uso de



herramientas infestadas, con el agua de riego y durante la preparación del terreno para plantaciones posteriores.

- **Manejo y control.** Se debe rotar con cultivos no susceptibles como maíz o sorgo, cuando la incidencia sea superior al 3%. Se deben utilizar estacas de plantaciones sanas y hay que desinfectar las herramientas (CIAT, 1981). La inmersión de las estacas en un fungicida también contribuye al control de la enfermedad.

Otros tipos de necrosamiento

Otro tipo de necrosamiento del tallo es causado por un basidiomiceto aún no identificado. Esta enfermedad, aunque relativamente poco común, ha sido observada en trozos de tallos viejos, maduros y jóvenes, tanto en el campo como en los cuartos de almacenamiento.

Los trozos de tallos infectados se necrosan mostrando una ligera decoloración marrón, en la que a veces se puede observar un micelio blanco en la epidermis. Durante períodos de alta humedad relativa, de la epidermis de las estacas severamente infectadas emergen pequeños basidiocarpos blancos, en forma de taza.

La falta casi absoluta de información sobre enfermedades en los tallos de yuca hace imperativa la necesidad de investigaciones relacionadas con aspectos etiológicos de los organismos causantes, así como estudios epidemiológicos y de control de estas enfermedades. En la sección relacionada con las pudriciones radicales se mencionan otros patógenos que atacan el sistema leñoso de la planta. Estos infectan comúnmente la base del tallo pudiendo causar muerte de la planta o pérdidas durante el almacenamiento de cangres.

En general, la presencia de las pudriciones del tallo parece ser favorecida por una alta humedad relativa y la infección ocurre probablemente a través de heridas en el tallo. Se sugiere que el material de propagación sea manejado y seleccionado cuidadosamente antes y después del almacenamiento. Se deben plantar sólo aquellos cangres o yemas viables. Se recomienda hacer inmersión de los cangres en una solución que contenga Captan (3 g/lt) y Benomyl (3 g/lt), durante 5 minutos.

Pudriciones radicales

Las pudriciones radicales de la yuca son importantes en áreas con suelos mal drenados o en regiones donde ocurren períodos con excesiva lluvia. Durante las primeras etapas de crecimiento, muchos microorganismos son capaces de inducir pudriciones radicales no sólo en plantas jóvenes de yuca, sino también en raíces de plantas maduras. Aunque se han registrado varias enfermedades radicales, muy poca información existe al respecto. Además los síntomas descritos no están bien definidos.

Generalmente, la infección causa en las plantas jóvenes la muerte a la germinación o poco después de ella. La infección en plantas de más de 4 meses puede resultar en marchitez parcial o total, a consecuencia de la pudrición radical, que puede ser suave o seca. Después de la invasión de uno o varios patógenos primarios, las raíces infectadas pueden ser invadidas por un amplio espectro de microorganismos, generalmente saprófitos y parásitos débiles, capaces de degradar los tejidos radicales; esta degradación enmascara la identidad del agente primario, haciendo que las pudriciones radicales manifiesten un mismo síndrome.

Algunas de estas enfermedades ocurren con frecuencia cuando la plantación de yuca se establece inmediatamente después de un cultivo leñoso, como el café. Generalmente, estos suelos se encuentran infestados de patógenos que atacan cultivos leñosos, como la yuca. Estos patógenos pueden ser hongos o bacterias que causan deterioro radical durante el cultivo, o también después de la cosecha y durante el almacenamiento de las raíces.

Las medidas de control de estas enfermedades son similares, siendo mejores las prácticas agronómicas como buen drenaje, selección de suelos con textura suelta, rotación, cosecha precoz y plantación en suelos que no se inundan. Los tratamientos con fungicidas pueden ayudar al establecimiento de la plantación porque evitan pudriciones radicales durante los primeros meses del cultivo.



Ridomil (2.5 kg/ha) aplicado al suelo y Alliette (0.4 kg/ha) aplicado foliarmente, han mostrado buenos resultados. Fungicidas a base de extractos vegetales, aceites y citoquininas, como el Sincocin, contribuyen al control de hongos del suelo y son una alternativa orgánica no contaminante. Se ha reportado la existencia de variedades resistentes (Castaño, 1953; Drummond y Gonçalves, 1957; Fassi, 1957; Muller y De Carneiro, 1970; CIAT, 1998 y Sánchez, 1998).

Pudrición radical inducida por *Phytophthora* spp.

- **Importancia.** Esta enfermedad se ha encontrado en Africa (Fassi, 1957) y América tropical (Muller y De Carneiro, 1970), causando pérdidas en el rendimiento que llegan hasta el 80% de la producción total. Las regiones donde principalmente se ha presentado la enfermedad son: norte del Cauca, Valle del Cauca, Quindío, Bolívar y Amazonia.

- **Etiología.** Se han identificado siete especies de *Phytophthora* que causan pudriciones en yuca: *P. drechsleri* Tucker en Brasil (Muller y De Carneiro, 1970) y Colombia (CIAT, 1972); además, *P. erythroseptica* Pethyb., *P. cryptogea* Pethyb. y Laff, *P. nicotianae* var. *parasitica*, *P. melonis*, *P. tropicalis* y *P. palmivora* (CIAT, 1999; 2000). Estos hongos causan también pudriciones radicales en otras especies de plantas cultivadas. Se ha detectado gran variación genética entre aislamientos del hongo, mediante técnicas moleculares (Álvarez et al., 1997a; 1997b; 2000b; Sánchez, 1998).

- **Síntomas y epidemiología.** El patógeno ataca las plantas jóvenes o maduras, especialmente cuando están cerca de zanjas de drenaje o de zonas mal drenadas, causando marchitez repentina en la planta y severa pudrición blanda en las raíces. Inicialmente, las raíces jóvenes infectadas presentan manchas acuosas que se extienden y luego adquieren una coloración marrón. Las raíces infectadas frecuentemente exudan un líquido de olor repugnante y luego se deterioran completamente en el suelo.

El hongo *Phytophthora* es un habitante natural del suelo, que puede afectar el cultivo en cualquier etapa; su desarrollo está favorecido por los suelos encharcados que se secan rápidamente o que tienen bajo contenido de nutrientes.

El hongo puede hacer una invasión primaria en la planta; después, a esta lesión llegan parásitos débiles o saprófitos que degradan los tejidos radicales y enmascaran así al agente primario que causa la enfermedad.

- **Manejo y control de la enfermedad.** Se recomiendan las prácticas siguientes:

- Seleccionar un suelo apropiado y medianamente profundo.
- Drenar el terreno y sembrar sobre caballones.
- Si la pudrición llega a un 3%, se debe rotar la yuca con gramíneas.
- Mantener el terreno limpio y drenado por un período no inferior a 6 meses.
- Plantar variedades resistentes.
- Erradicar plantas enfermas.
- Seleccionar plantas sanas para obtener semilla.
- Usar semilla limpia. En caso de presentarse la enfermedad en el cultivo, se recomienda tratar las estacas con Ridomil (metalaxyl) en dosis de 3 g/lt.
- Dar tratamiento térmico a las estacas en agua a 49 °C durante 49 minutos.
- El control biológico con algunos aislamientos de *Trichoderma* ha mostrado resultados promisorios (Bedoya et al., 2000).
- Mediante investigación participativa con los agricultores, se han identificado genotipos con resistencia a la enfermedad (Álvarez y Llano, 1999).



Pudrición radical inducida por Rosellinia spp.

▪ **Importancia.** Esta enfermedad se ha registrado en muchas regiones yuqueras de suelos pesados, mal drenados y con un alto contenido de materia orgánica, y en plantaciones de yuca posteriores a cultivos forestales o a especies leñoso-perennes (Castaño, 1953; Viegas, 1955). La enfermedad ha sido llamada también “pudrición negra”, a causa del característico color negro de los tejidos infectados y de los chancros radicales.

En Colombia se ha presentado esta pudrición en la zona cafetera, en plantaciones donde previamente se hallaban cultivos de café, cacao o guamo, especie que se emplea para dar sombra a las plantaciones de café.

▪ **Etiología.** *Rosellinia necatrix* (Harting.) Berl., estado peritecial de *Dematophora necatrix*, es el agente causante de esta enfermedad (Castaño, 1953; Viegas, 1955). Este hongo induce pudriciones radicales en otras plantas leñosas y herbáceas (Castaño, 1953; Viegas, 1955). Sin embargo, hay muy poca información sobre la epidemiología del hongo en la yuca; en general, se cree que su estado sexual ocurre muy rara vez (Castaño, 1953). Otras especies de *Rosellinia* también atacan la planta de yuca.

▪ **Síntomas y epidemiología.** Inicialmente, la epidermis radical se cubre de rizomorfos blancos que luego se tornan negros. Internamente, los tejidos infectados de las raíces gruesas se decoloran ligeramente y exudan líquido al comprimirse. Los haces miceliales negros penetran en los tejidos, en los cuales crecen formando pequeñas cavidades que contienen micelio blancuzco. Las raíces infectadas tienen un olor característico a madera en descomposición. La enfermedad no ha sido registrada en plantas jóvenes, pero se sugiere que no se seleccione material de propagación procedente de plantaciones infectadas.

▪ **Manejo y control.** Se recomienda las prácticas siguientes:

- Rotar con gramíneas cada vez que las plantas muertas o la pudrición radical lleguen al 3%.
- Eliminar residuos de yuca afectados y desechos de árboles perennes (troncos y ramas en descomposición).
- Sembrar en suelos sueltos.
- Mejorar el drenaje del suelo.
- Hacer un tratamiento de solarización, exponiendo el suelo al sol durante 3 meses.
- Control químico con Topsin (tiofanato), en dosis de 2 g/lit de producto comercial, aplicado al suelo antes de la siembra.
- Se recomiendan aplicaciones al suelo de Sincocin (extracto vegetal), en dosis de 1 lt/ha. También se pueden tratar las estacas con inmersión en solución de este producto al 1%.

Pudrición radical inducida por Sclerotium rolfsii

Esta enfermedad se presenta comúnmente en estacas jóvenes y en raíces maduras como una cubierta algodonosa que cubre la parte afectada. Se ha registrado sólo en América Latina (CIAT, 1972; Ferdinando et al., 1968). El micelio blanco, que se encuentra en las raíces infectadas o hacia la base de los tallos, también se disemina en el suelo. Este micelio puede, en ocasiones, penetrar en las raíces a través de heridas causando luego la pudrición. Aunque rara vez es letal para las plantas jóvenes, este hongo puede causar un porcentaje considerable de necrosamiento radical en una misma planta.

La enfermedad es causada por *Sclerotium rolfsii* Sacc., un organismo común en el suelo que se considera débil como patógeno; tiene un micelio blanco, de apariencia algodonosa y forma numerosos esclerocios redondos producidos tanto en el hospedero como en cultivos de laboratorio.

Pudrición algodonosa de la yuca

Esta enfermedad es conocida en América Latina, pero en la actualidad no tiene mayor importancia. La enfermedad se reconoce por la presencia de una masa de micelio blanco bajo la corteza de las raíces gruesas y por la presencia de hilos miceliales blancos, como fibras de algodón, que cubren parte o toda la epidermis de las raíces infectadas, hasta la base del tallo. Internamente, los tejidos infectados parecen deshidratados y



emiten un olor característico a madera en descomposición. Las plantas jóvenes pueden llegar a infectarse y a veces sufren marchitez repentina, defoliación y necrosamiento radical.

El organismo causante de la enfermedad es *Fomes lignosus* (Klot.) Bres. (Jennings, 1970; IITA, 1972).

Otras pudriciones radicales

Existen otras especies de hongos que pueden inducir pudriciones radicales en plantas de yuca en diferentes estados de su desarrollo, pero hay muy poca información disponible sobre estas enfermedades y su importancia.

Se ha reportado que el hongo *Armillariella mellea* Vahl. está asociado con la pudrición de la base del tallo y de la raíz de plantas maduras (Arraudeau, 1969; CIAT, 1972). Otros hongos que pueden causar pudriciones radicales en la yuca son *Phoeolus manihotis* (Heim, 1931), *Lasiodiplodia theobromae* Griff. et Mubl. (Vanderweyen, 1962), *Pythium* sp., *Fusarium* sp. (CIAT, 1972), *Clitocybe tabescens* (Arraudeau, 1969), *Sphaceloma manihoticola* B. et Jenkins (Bitancourt y Jenkins, 1950), *Rhizopus* spp. (Majumder et al., 1956), *Rhizoctonia* sp. (Gonçalves y Franco, 1941) y *Aspergillus* spp. (Clerk y Caurie, 1968).

Algunas especies bacterianas pertenecientes a *Bacillus*, *Erwinia* y *Corynebacterium* se consideran también como causantes de pudriciones suaves o de fermentaciones en raíces gruesas de yuca (Akinrele, 1964; Averre, 1967). Los síntomas de estas pudriciones suaves son similares y frecuentemente van acompañados de fermentación. Se cree que estos organismos penetran dentro de las raíces a través de heridas producidas por el hombre durante las operaciones de cultivo, por animales, por insectos o por hongos; están, con frecuencia, acompañados de otros microorganismos saprófitos que pueden ayudar al deterioro.

El agente causante del añublo bacteriano puede inducir también necrosamiento, decoloración y pudrición seca en los tejidos vasculares de las raíces infectadas (Lozano, 1973; Lozano y Sequeira, 1974).

Pudrición del “corazón” de la yuca

Es un trastorno fisiológico que causa daños en las raíces gruesas (Averre, 1967). Ocurre en suelos húmedos y mal drenados en los que la raíz presenta una necrosis interna seca que se extiende irregularmente del centro a los tejidos corticales. Este trastorno se observa sólo en un 10% a 20% de las raíces de una planta infectada y se cree que las raíces de mayor tamaño y espesor son las susceptibles.

Aunque se desconoce si el rápido deterioro de las raíces de yuca después de la cosecha proviene de efectos fisiológicos o patológicos, o de una combinación de los dos, se han aislado numerosos microorganismos de las raíces deterioradas. Además, se sabe que varios de estos organismos causan decoloración y pudrición. Booth (1972) describe la importancia del daño mecánico en el deterioro de las raíces, el cual puede controlarse mediante la técnica del curado en silos subterráneos.

Enfermedades Bacterianas

Añublo bacteriano (*Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis*)

- **Importancia.** El añublo bacteriano se considera una de las enfermedades más limitantes de la producción de yuca en las áreas afectadas por él, ocasionando pérdidas hasta del 100%.

Es una enfermedad que durante los años 60 y 70 ocasionó grandes daños al cultivo de la yuca, pero la aplicación de programas integrales de manejo han permitido su control satisfactoriamente.

En Colombia, el añublo bacteriano se presenta con mayor incidencia y severidad en los Llanos Orientales. En la Costa Atlántica se ha movilizadado material de siembra de plantaciones afectadas hacia zonas libres de la enfermedad, ocasionando una amplia diseminación e incidencia de la enfermedad en los departamentos de Atlántico, Bolívar, Córdoba, Magdalena y Sucre, lo que constituye una limitante de la producción de yuca en



las sabanas de Sucre, Sincelejo y Bajo Sinú. Recientemente se ha detectado con relativa severidad, en el departamento de Quindío y con menor importancia al sur del Valle del Cauca.

- **Etiología.** El organismo causante, *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis*, es una bacteria gram-negativa en forma de bastón fino, presenta movilidad por medio de un flagelo polar, y sus células no están encapsuladas y no forman esporas.

La bacteria penetra al hospedero por los estomas y por heridas en la epidermis. Es sistémica y se mueve en los tallos y pecíolos a través de los vasos del xilema y posiblemente por el floema.

Según Verdier et al. (1993), la diversidad del patógeno es limitada en África y amplia en América del Sur, centro de origen de la yuca. La diversidad de las cepas colombianas es muy amplia, tanto a nivel patogénico como genético (Restrepo et al., 1996).

- **Síntomas y epidemiología.** Los síntomas característicos del añublo bacteriano son manchas foliares que inicialmente son pequeñas y angulares y de apariencia acuosa en el envés; luego crecen cubriendo totalmente la hoja y adquieren un color marrón de añublo o quemazón foliar. Hay entonces marchitez, muerte descendente, exudación gomosa en los tallos jóvenes infectados, en los pecíolos y en las manchas foliares; además, los haces vasculares de los pecíolos y de los tallos infectados se necrosan, tomando la apariencia de bandas de color marrón o negro. Los síntomas se presentan 11 a 13 días después de la infección (Lozano, 1972; Lozano y Booth, 1979).

La bacteria se disemina ampliamente por las estacas provenientes de plantas afectadas, de un ciclo de cultivo a otro y de un área a otra. En el cultivo, el principal medio de dispersión es por salpicaduras a causa de las lluvias y por herramientas contaminadas. También el movimiento de personas y animales dentro de la plantación, principalmente durante o después de la lluvia, puede contribuir a la dispersión del patógeno (Lozano, 1972; 1973).

Aunque el patógeno sobrevive pobremente en el suelo, éste puede ser fuente de inóculo si está contaminado; también el agua de riego, aunque en baja proporción. La bacteria puede sobrevivir epifíticamente sobre muchas malezas, sirviendo como fuente de inóculo si no se hace un control adecuado. Los insectos diseminan la enfermedad en cortas distancias.

La severidad del añublo bacteriano es mayor cuando hay fluctuaciones de temperatura amplias entre el día y la noche, razón por la cual la enfermedad no es importante en áreas de temperatura estable como la Amazonia, donde la nubosidad no permite fluctuaciones marcadas de temperatura.

- **Manejo y control de la enfermedad.** Se debe realizar un control integral que incluya las siguientes estrategias:

Resistencia varietal. Para identificar variedades resistentes se deben hacer evaluaciones en sitios donde la enfermedad sea severa y endémica. Existen variedades tolerantes como ICA Catumare, ICA Cebucán, La Reina y Chiroza. Sin embargo, se ha observado aumento de la severidad de la enfermedad en ICA Catumare, cuando no se hace una adecuada selección de semilla limpia (observaciones de Germán Llano en evaluaciones entre 1998 y 2000). Se han identificado varios genotipos con resistencia a diversos patotipos de la bacteria (Alvarez et al., 1999).

Prácticas del cultivo. Se recomiendan las siguientes:

- Usar material de siembra sano, obtenido de plantaciones sanas, de plantas provenientes de cultivos de meristemas y por enraizamiento de cogollos o de brotes.
- Tratar las estacas sumergiéndolas durante 5 minutos en una solución de fungicidas cúpricos como oxiclورو de cobre u Orthocide (Captan) en dosis de 3 a 6 g/lt. La inmersión en Ridomil (3 g/lt)



también ha dado buen resultado. Productos biológicos como Lonlife al 4%, a base de semillas de cítricos, son promisorios.

- Rotar el cultivo con maíz o sorgo.
- Sembrar barreras de maíz para evitar la diseminación por el viento.
- Mejoramiento del drenaje del suelo.
- Control de malezas.
- Fertilización adecuada principalmente con fuentes de potasio.
- Erradicación de plantas enfermas.
- Evitar el movimiento de personas, máquinas y animales de lotes afectados a lotes sanos.
- Eliminación de material afectado después de cosecha: quemar ramas y tallos e incorporación al suelo de residuos de cosecha.
- Siembras al final de períodos lluviosos.

Se está investigando la aplicabilidad del tratamiento térmico de estacas para semilla en agua a 49 °C durante 49 minutos, el cual ha dado buen control de la bacteria en estacas afectadas. El efecto mejora al hacer un pretratamiento a 49 °C durante 10 minutos, y al día siguiente sumergir las estacas en agua a 49 °C durante 49 minutos. Tiempos mayores, hasta de 5 horas previo pretratamiento, han mostrado reducción de la bacteria, aunque la emisión de brotes puede disminuir, dependiendo de la calidad de las estacas (Ramírez et al., 2000; CIAT, 2000; CIAT, información a publicar en el Informe Anual, 2001).

Pudrición bacteriana del tallo (*Erwinia carotovora* pv. *carotovora*)

▪ **Importancia.** Esta enfermedad tiene importancia porque causa daño a las estacas que se usan para la siembra, afectando su calidad y su desarrollo en el suelo.

▪ **Síntomas.** La enfermedad se caracteriza por la pudrición acuosa y olorosa del tallo o por la necrosis medular de la porción leñosa de la planta. Las plantas afectadas muestran marchitez en los cogollos. En la superficie del tallo se pueden observar perforaciones hechas por insectos del género *Anastrepha*, que son agentes diseminantes de la bacteria. Estos orificios son fáciles de distinguir por las huellas de látex, ya seco, que fue exudado después de la perforación del tallo. Las estacas enfermas que se planten no brotarán o si lo hacen producirán plantas raquílicas con un número limitado de raíces gruesas (CIAT, 1981).

▪ **Manejo y control de la enfermedad**

- Usar siempre material de siembra (estacas) sano.
- Plantar variedades resistentes al insecto vector.
- Quemar los tallos afectados.
- Quemar los residuos de la cosecha.

BIBLIOGRAFÍA

Akinrele IA. 1964. Fermentation of cassava. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 15:589-594.

Alvarez E; Chacón MI; Loke JB; Sánchez N J. 1997a. Genetic variation in strains of *Phytophthora* spp. affecting cassava. *Phytopathology* 87(6):S3-S4.

Alvarez E; Sánchez N J; Chacón M I; Loke JB. 1997b. Pudrición de raíces en Colombia: Avances en la caracterización de aislamientos de *Phytophthora* spp. de yuca. En: Pineda B (ed.). XVIII Congreso de la Asociación Colombiana de Fitopatología y Ciencias Afines (ASCOLFI), julio-agosto de 1997. Universidad Nacional, sede Palmira, Colombia. p. 67.

Alvarez E; Molina M L. 1997. Caracterización morfológica y molecular de aislamientos de *Sphaceloma manihoticola* (Bitancourt y Jenkins) en Colombia. En: Pineda B (ed.). XVIII Congreso de la Asociación Colombiana de Fitopatología y Ciencias Afines (ASCOLFI), julio-agosto de 1997. Universidad Nacional, sede Palmira, Colombia. p. 66-67.



- Alvarez E; Cadena SF; Llano GA. 1999. Evaluación de resistencia de yuca a 12 cepas de *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis*. ASCOLFI Informa (Colombia) 25(4-6):57-59.
- Alvarez E; Llano GA. 1999. Investigación participativa para el control de pudrición de yuca en comunidades indígenas de Mitú (Colombia). En: Simposio internacional y talleres sobre fitomejoramiento participativo en América Latina y el Caribe: un intercambio de experiencias. Quito, Ecuador, agosto 1999. CDR Programa de Investigación Participativa y Análisis de Género del GCIAl. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
- Alvarez E; Molina M L. 2000. Characterizing the *Sphaceloma* fungus, causal agent of superelongation disease in cassava. Plant Disease 84:423-428.
- Alvarez E; Mejía JF; Losada T. 2000a. Pathogenic and molecular characterization of Brazilian isolates of *Sphaceloma manihotica*. American Phytopathological Society, New Orleans, E.U. p. 58.
- Alvarez E; Chacón M I; Sánchez N J. 2000b. DNA polymorphism and virulence variation of a *Phytophthora* population isolated from cassava *Manihot esculenta* Crantz. En: Carvalho L; Thro AM; Duarte A (eds.). Cassava biotechnology fourth international scientific meeting (CBN), noviembre, 1998. EMBRAPA/CENARGEN y CBN. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 279-287.
- Alvarez E; Mejía JF; Losada T. 2001. Assessing virulence and genetic variability of *Sphaceloma manihotica*, causal agent of superelongation in cassava, in Brazil and Colombia, using RAMS and AFLP. Phytopathology 91(6):S101.
- Arraudeau M. 1969. Cassava in the Malagasy Republic; research and results. En: Proceedings of the International Symposium on Tropical Root Crops, 1, St. Augustine, Trinidad, 1967. St. Augustine, University of West Indies. v. 1, p. 180-184.
- Averre CW. 1969. Vascular streaking of stored cassava roots. En: Proceedings of the International Symposium on Tropical Root Crops, 1, St. Augustine, Trinidad, 1967. St. Augustine, University of West Indies. v. 2, p. 31-35.
- Bedoya FA; Alvarez E.; Loke JB. 2000. Selección *in vitro* de aislamientos de *Trichoderma* spp. para el control biológico de la pudrición radical en yuca. Fitopatología Colombiana 23(2):65-67.
- Bitancourt AA; Jenkins AE. 1950. *Sphaceloma manihotica* sp. nov. Arquivos do Instituto Biológico, São Paulo, Brasil 20:15-16.
- Booth RH. 1972. Cassava production systems: fresh root storage. Informe anual CIAT 1972. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 74-78.
- Bouriquet G. 1946. Les maladies du manioc a Madagascar. Bulletin Economique de Madagascar (Tanarive) 65:198-237.
- Castaño J J. 1953. La llaga negra o podredumbre negra radicular de la yuca. Agricultura Tropical (Bogotá, Colombia) 8: 21-9.
- Castaño J J. 1969. Mancha foliar de *Cercospora caribae* en yuca (*Manihot utilissima* Pohl.) en la región de Barbosa (Antioquia). Agricultura Tropical (Bogotá, Colombia) 25:327-329.



- Chevaugon J. 1956. Les maladies criptogamique du mandioc en Afrique Occidentale. Encyclopédie mycologique 28:1-205.
- Chupp C. 1953. A monograph of *Cercospora*. Cornell University, Ithaca, N.Y. 667 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1972. CIAT Informe Anual 1972. Cali, Colombia. 192 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1981. Problemas en el cultivo de la yuca. Cali, Colombia. 205 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1998. CIAT Informe Anual 1998. Cali, Colombia. 192 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1999. CIAT Informe Anual 1999. Cali, Colombia. 192 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 2000. CIAT Informe Anual 2000. Cali, Colombia. 192 p.
- Clerk GC; Caurie M. 1968. Biochemical changes caused by some *Aspergillus* species in root tubers of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). Tropical Science 10:149-154.
- Drummond OA; Gonçalves R D. 1957. Apodrecimiento das hastes e raizes da mandioca. O Biológico 23:244-245.
- Fassi B. 1957. Premieres observations sur une pourriture des racines du manioc causée par un *Phytophthora*. Bulletin d'Information INIAC 6:313-317.
- Ferdinando G; Tokeshi H; Carvalho P C T; Balmer E; Kimati H; Cardoso CON; Salgado CL. 1968. Manual de fitopatología: Doenças das plantas e seu control. Biblioteca Agronómica, Ceres, São Paulo. 640 p.
- Ghama C; Meossi E. 1971. Una grave infezioni fogliare della manioca in Somalia. Rivista di Agricoltura Subtropicale e Tropicale 65:21-26.
- Ghesquière J. 1932. Sur la "Mycosphaerellose" des feuilles du manioc. Bulletin of the Institute of the Royal College of Belgium 3:160-178.
- Golato C; Meossi E. 1966. Una nuova malattia fogliare della manioca in Somalia. Rivista di Agricoltura Subtropicale e Tropicale 60:182-186.
- Gonçalves RD; Franco J. 1941. Rhizotoniose em mandioca e podridão das raizes (*Diplodia*) em tunque. O Biológico 7:360-361.
- Heim R. 1931. Le *Phoeolus manihotis* sp. nov., parasite du manioc à Madagascar, et considérations sur le genre *Phoeolus* Pat. Annales de Cryptogamie Exotique 6:175-189.
- IITA (International Institute of Tropical Agriculture). 1972. Report of root, Tuber and Vegetable Improvement Program. Ibadán, Nigeria. 48 p.
- Irvine FR. 1969. Cassava (*Manihot utilissima*) in West African Agriculture; 2: West African Crops. Oxford University Press, Londres, Inglaterra. p. 153-159.
- Jennings DL. 1970. Cassava in Africa. Field Crops Abstracts 23:271-277.
- Lozano JC. 1972. Bacterial blight of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in Colombia: Etiology, epidemiology, and control. Tesis (Ph.D.). University of Winsconsin, Madison. 114 p.



- Lozano JC. 1973. Bacterial blight of cassava in Central and South America: Etiology epidemiology and control. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 19 p.
- Lozano JC; Sequeira L. 1974. Bacterial blight of cassava in Colombia; II: Epidemiology and control. *Phytopathology* 64:83-88.
- Lozano JC; Booth RH. 1979. Enfermedades de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). En: Yuca: Investigación, producción y utilización. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 163-216.
- Majunder SK; Pingale SY; Swaminathan M; Subrahmanyam V. 1956. Control of spoilage in fresh tapioca tubers. *Bulletin Central Food Technological Research Institute (Mysore)* 5:108-109.
- Molina M. 1998. Caracterización morfológica y molecular de aislamientos del hongo *Sphaceloma manihoticola* Bitancour & Jenkins, agente causante del superalargamiento en yuca, *Manihot esculenta* Crantz. Universidad Católica de Manizales, Facultad de Bacteriología, Manizales, Colombia. 74 p.
- Muller MF; De Carneiro FA. 1970. Cucumber: A herbaceous host of cassava mosaic virus. *Plant Disease Report* 54:34-35.
- Norman SE. 1970. General aspects of cassava root production in Brazil. En: International Symposium on Tropical Root and Tuber Crops, 2o., Honolulu y Kapaa, Kauai, Hawaii. University of Hawaii, Honolulu. p. 61-63.
- Park M. 1934. Report of the work of the mycological division. Ceylon Administration Reports: Reports of the Director of Agriculture. p. 125-133.
- Powell PW. 1972. The *Cercospora* leaf spots of cassava. *Tropical Root and Tuber Crops Newsletter* 6:10-14.
- Ramírez JA; Alvarez, E; Marmolejo de la TF. 2000. Determinación *in vitro* de la sensibilidad térmica de cepas de *Xanthomonas axonopodis* pv *manihotis*, agente causante de la bacteriosis vascular de la yuca. *Fitopatología Colombiana* 23(2):87-91.
- Restrepo S; Verdier V; Alvarez E. 1996. Variabilidad de *Xanthomonas campestris* pv. *manihotis* en Colombia. *ASCOLFI Informa* 22(1):1-4.
- Saccardo PA. 1913. *Sylloge fungorum omnium hucusque cognitorum*. Typis Seminarii (Patavii, Italia) 22:1250.
- Sánchez NJ. 1998. Caracterización de *Phytophthora* spp., agente causal de pudrición de raíz de yuca (*Manihot esculenta* Crantz), utilizando pruebas de patogenicidad y técnicas moleculares. Tesis. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Bogotá, Colombia. 198 p.
- Umanah EE. 1970. Identification and cultivation of currently recommended improved cassava varieties. Memo of the Federal Department of Agricultural Research (Ibadán, Nigeria) 93:1-18.
- Vanderweyen A. 1962. Maladies cryptogamiques. En: Précis des maladies et des insectes nuisibles sur les plantes cultivées au Congo, au Rwanda et au Burundi. Institut National pour l'Etude Agronomique du Congo, Bruselas. p. 471-480.



- Verdier V; Dongo P; Boher B. 1993. Assessment of genetic diversity among strains of *Xanthomonas campestris* pv. *manihotis*. Journal of General Microbiology (Reino Unido) 139:2591-2601.
- Viegas AP. 1941. Manchas das folhas da mandioca produzidas por cercosporas. Bragantia 1:233-248.
- Viegas AP. 1943a. Alguns fungos da mandioca. I. Bragantia 3(1):1-17.
- Viegas AP. 1943b. Alguns fungos da mandioca. II. Bragantia 3(2):20-9.
- Viegas AP. 1955. A podridão das raízes da mandioca. Revista Agronómica (Porto Alegre, Brasil) 17:202-208.
- Zeigler RS; Powell LE; Thurston D. 1980. Gibberellin A4 production by *Sphaceloma manihoticola*, causal agent of cassava superelongation disease. Phytopathology 70(7):589-593.
- Zeigler RS; Lozano JC. 1983. The relationship of some *Elsinoe* and *Sphaceloma* species pathogenic on cassava and other members of the Euphorbiaceae in Central and South America. Phytopathology 73(2):293-300.



7. SISTEMAS MECANIZADOS DE SIEMBRA Y COSECHA PARA EL CULTIVO DE LA YUCA

Bernardo Ospina*, Martha Lilibiana García**, César Andrés Alcalde T.**

Los avances logrados en los últimos años en el desarrollo de variedades de yuca con alto potencial de rendimiento ayudan a mejorar la productividad y la competitividad del cultivo y le permiten entrar en diferentes mercados, especialmente en los servidos por las industrias de alimentación animal y usos industriales (almidón y pegantes).

Para competir en estos mercados, los costos de producción se deben mantener tan bajos como sea posible. El cultivo de la yuca demanda una cantidad apreciable de uno de ellos, la mano de obra, especialmente en las labores de siembra y cosecha. En países como Brasil y Tailandia, se ha avanzado mucho en el desarrollo de sistemas mecanizados de siembra y de cosecha de la yuca, y éstos han reducido apreciablemente el costo de producción de este cultivo. En Colombia se han adaptado varias de estas tecnologías con resultados satisfactorios, y en este capítulo se describen algunas de ellas.

Mecanización

La mecanización agrícola pretende, como objetivo principal, ofrecer condiciones óptimas para el desarrollo del cultivo en todas las etapas de su ciclo de vida. Implica, por tanto, una reducción directa de la mano de obra requerida, de los costos de producción, del tiempo que gasta cada labor por unidad de área, y del costo final del producto agrícola. En consecuencia, puede aumentar el área sembrada y justificar la inversión inicial en maquinaria agrícola.

La mecanización del cultivo de la yuca es una de las principales necesidades de la agricultura colombiana, si se tiene en cuenta la proyección de ese cultivo en los mercados nacionales e internacionales. Ahora bien, no hay actualmente una oferta tecnológica amplia de maquinaria en el mercado local ni en el internacional; por tanto, es necesario hacer inicialmente evaluaciones de esas tecnologías para adaptarlas a las condiciones del país.

Preparación del suelo

La yuca, como cualquier otro cultivo, requiere una buena preparación del suelo que varía según el clima, el tipo de suelo y de vegetación, la topografía, el grado de mecanización que recibe el cultivo, y otras prácticas agronómicas.

Una preparación adecuada del suelo garantiza una cama propicia para la 'semilla' y, en consecuencia, altos niveles de germinación y de producción. La cama de la semilla debe tener, en general, unos 20 cm de profundidad y un suelo disgregado y libre de terrones para que facilite el crecimiento horizontal y vertical de las raíces.

La preparación del suelo comienza, generalmente, en la época seca; lo contrario se hace en regiones de clima muy húmedo, donde la tierra se prepara hacia el final de las lluvias fuertes y las estacas se siembran al comienzo de la época seca: así se aprovechan las lluvias poco copiosas para el desarrollo inicial de las raíces. En zonas de menor precipitación pluvial es necesario, a veces, arar antes del período seco para aprovechar

* M.Sc., Desarrollo Agrícola Internacional, Director Ejecutivo de CLAYUCA. E-mail: b.ospina@clayuca.org

** Ingeniero Agrícola, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional, Palmira, Colombia.



algo de lluvia, ya que más tarde el terreno se secará y endurecerá demasiado para la labranza. En muchas regiones, el arado de discos ha comenzado a ser sustituido por otros implementos, como el arado de cincel, que ayudan a conservar la estructura del suelo.

Cuando es posible mecanizar esta labor, muchos cultivadores de yuca preparan el suelo con un arado sencillo y otro de discos: de este modo obtienen buenas condiciones para plantar, ventilan el suelo y controlan las malezas. Hoy en día es necesario evaluar la estructura y otras propiedades físicas del suelo, con el fin de hacer un diagnóstico para elegir el patrón de mecanización necesario. Además, se deben incluir los conceptos de sostenibilidad y de labranza reducida donde sea posible.

Una práctica común en Brasil —y en casi todas las zonas en que se mecanizan las labores de siembra— es la preparación de surcos de 10 a 20 cm de profundidad para plantar en ellos las estacas en posición horizontal. El primer pase de arado (con el de discos) se hace 30 días antes de la plantación; el segundo se hace justo antes de plantar las estacas. El objetivo es mejorar las condiciones del suelo y eliminar las malezas que puedan generarle competencia al cultivo en su establecimiento.

En los terrenos en declive no es recomendable plantar yuca si las pendientes superan el 15%; en caso de plantarla, deben hacerse surcos en contorno para prevenir la erosión. Esta puede convertirse en un problema grave si, además, el suelo es arenoso, especialmente durante los primeros meses de crecimiento del cultivo (Ribeiro, 1996).

Plantación o ‘siembra’

La introducción de nuevas tecnologías en el cultivo de la yuca ha modificado las prácticas del cultivo, principalmente el método de plantación y la posición de la estaca; estas dos prácticas son fundamentales para elevar el rendimiento y asegurar el mercado del producto (Cuadra y Rodríguez, 1983).

Cock et al. (1978) proponen varios métodos de plantación (‘siembra’) que tienen en cuenta el clima, los suelos, los equipos disponibles, la topografía y las costumbres de los agricultores. Estos métodos son el manual, el semimecanizado y el mecanizado.

En Colombia se planta la yuca, generalmente, en el plano o en caballones; la elección de uno u otro sitio de plantación depende de la humedad de la zona y de la textura del suelo.

Suelos y métodos

Cualquier método de plantar estacas debe hacer énfasis en la emisión de brotes (‘germinación’) y en el enraizamiento de las estacas; para lograrlo, se requiere que el suelo tenga la humedad adecuada y una buena preparación. El método de plantación empleado dependerá, principalmente, del tipo de suelo y del clima.

- En suelos de **textura arcillosa** en que caen más de 1200 mm de precipitación pluvial, deberían hacerse caballones para facilitar el drenaje; esta práctica mejoraría considerablemente el establecimiento y el rendimiento del cultivo y, además, facilitaría la labor de cosecha manual (Lozano, 1978).

Conceição (1976) informa que la plantación de las estacas en posición horizontal, a 10 cm de profundidad, en surcos, facilita la cosecha comercial (Figura 7-1). La siembra en caballones da buenos resultados si las malezas no constituyen un problema grave.

- En suelos **más pesados** y compactos se debe plantar la yuca en camas o caballones, ya que esos suelos se saturan de agua y, en la época de lluvias, propician la pudrición de las raíces porque están mal aireados, lo que causa pérdidas al cultivo.



Lulofs (1978) reportó que la ‘siembra’ en plano es satisfactoria; sin embargo, plantar en caballones puede dar mayor rendimiento, mejor control de la erosión y más facilidades para la cosecha; no hay diferencias significativas en producción de yuca entre ambos métodos. La plantación en caballones dio una producción de raíces menor que la realizada en el plano; no obstante, con ésta disminuye el número de desyerbas requeridas y el esfuerzo físico que exige la cosecha.



Figura 7-1. Estaca plantada en posición horizontal.



Figura 7-2. Estaca plantada en posición vertical inclinada.

- En suelos de **textura arenosa**, que predominan en los climas secos del trópico, se planta la yuca en el plano; es recomendable que en esos suelos se coloquen las estacas en posición vertical (Figura 7-2), enterrándolas unos 5 cm (la estaca tiene 20 cm). El daño causado por el calor excesivo del suelo en las yemas que quedan enterradas —mayor, generalmente, que el calor recibido por las yemas que quedan en el exterior— afecta el rendimiento del cultivo (Cadavid L., 1998).

Métodos y variables

Cuatro **variables importantes** determinan los métodos de plantación de la yuca, sean éstos manuales o mecanizados:

- profundidad de siembra;
- longitud de la estaca;
- posición de la estaca;
- espaciamiento entre plantas y entre surcos.

Cada una de ellas tiene un valor diferente según el tipo de suelo y la condición climática en que se planta el cultivo.

Profundidad de siembra. Para facilitar la producción de raíces tuberosas, la profundidad a que se planta la estaca no pasa de 10 a 15 cm. Las raíces finas tienen a su cargo la absorción de los elementos esenciales y el agua y se extienden, por ello, a mayor profundidad que la de siembra cuando el cultivo sufre estrés hídrico o sequía.

La plantación manual es tradicional en todas las regiones yuqueras. Se coloca la estaca en forma vertical o inclinada en un surco, ya sea sobre un caballón o en el plano, y se entierran de 5 a 10 cm de los 20 cm que tiene la estaca. Se planta en el sentido de crecimiento de las yemas, procurando que un buen número de ellas quede bajo el suelo, lo que depende de la variedad.



Varios experimentos han indicado que la porción de la estaca que se entierra al plantarla no debe sobrepasar los 10 cm; a mayor profundidad puede haber dificultades en la cosecha. Una plantación más superficial (5 cm) permite que las plantas sean arrastradas por el agua o que tengan raíces superficiales propensas al volcamiento; además, dificulta algunas prácticas agronómicas. En los suelos arenosos, la profundidad de plantación no debe ser menor que 5 cm, ya que el agua asienta la arena y dejaría al descubierto la estaca plantada.

Longitud de la estaca. En cualquier sistema de producción de yuca, el tamaño y calidad de las estacas que se plantan es de gran importancia, si se desea obtener altos rendimientos.

La calidad de la estaca depende de la edad y del grosor del tallo seleccionado para cortarla, del tamaño de la estaca, de la variedad de yuca, de la duración del almacenamiento, y del daño mecánico que sufra la estaca cuando es preparada, transportada, almacenada o plantada. La longitud de las estacas comúnmente usadas por los agricultores está entre 15 y 25 cm.

En 1974, Gurnah demostró que, donde la humedad es adecuada (1000 mm) y se plantan estacas de 2 a 8 nudos, se incrementa el rendimiento al aumentar el número de nudos desde 2 hasta 5; más allá de este número no hubo ulteriores incrementos en el rendimiento. La longitud de la estaca que se plante depende, por tanto, del número de nudos deseados (lo recomendable es entre 3 y 5) y ese número depende, a su vez, de las características fenotípicas de la variedad que se plantará (Figura 7-3).

Se garantiza un valor alto en la emisión de brotes de la estaca ('germinación') si ésta es fresca, o sea, está recién cortada.

Posición de la estaca. En Colombia se plantan las estacas generalmente en posición vertical (ver Figura 7-2). Cock et al. (1978) hallaron que ni el ángulo de corte ni la posición en que se planta la estaca tienen un efecto significativo en el rendimiento. Cuando se corta la estaca perpendicularmente a su longitud (en ángulo recto), las raíces se distribuyen uniformemente alrededor de la circunferencia del corte (Figura 7-4). Si se planta la estaca horizontalmente, las raíces se separan más y la cosecha es más fácil que cuando se planta en posición vertical o inclinada (Figura 7-5).



Figura 7-3. Los nudos de la estaca en relación con su longitud. Variedad CM 533-4 (ICA Negrita).



Figura 7-4. Estaca cortada en ángulo recto respecto a su longitud.

Los ensayos realizados en el CIAT indican que el enraizamiento y la emisión de brotes ('germinación') de las estacas, bajo condiciones de campo, fueron siempre más rápidos cuando éstas se plantaban en posición vertical.



Se recomienda plantarlas en posición horizontal cuando la operación es mecanizada y la humedad del suelo es la apropiada.

No se han encontrado diferencias significativas en la producción de raíces de plantas provenientes de estacas que se plantan inclinadas, verticales u horizontales; no obstante, la observación continua permite recomendar que se planten las estacas en posición vertical porque ésta favorece el crecimiento inicial y reduce el volcamiento de las plantas (Solórzano, 1978).

Datos recientes obtenidos por investigadores del CIAT en Honduras sugieren que las estacas plantadas en posición vertical o inclinada contribuyen a que las plantas mantengan sus tallos rectos y reduzcan el enraizamiento fuerte; sin embargo, Conceição (1975) recomienda plantarlas horizontalmente en los surcos cuando la siembra es mecanizada. Otros datos obtenidos por el CIAT indican que la estaca plantada en posición vertical o inclinada facilita luego la cosecha mecánica.

En regiones de suelos medios a pesados cuya precipitación está entre 1000 y 2000 mm al año, no hay diferencias entre la plantación de la estaca en posición horizontal o vertical, ya que la humedad es adecuada para que ésta 'germine'.

En regiones de suelos arenosos y de lluvias irregulares, la posición vertical de la estaca es la más segura. Además, las estacas pueden reducirse de 20 cm a una longitud de 10 a 15 cm; de este modo aprovechan mejor la humedad disponible. Las estacas plantadas verticalmente sirven así de medio difusor del calor.

Espaciamiento entre plantas. Es indiscutible que el espaciamiento de las plantas en el cultivo tiene un efecto especial en la producción y depende de factores como la fertilidad del suelo, la variedad de yuca, la topografía, el método de plantación de las estacas, la finalidad del cultivo, la época de plantación, la época de cosecha, y el clima. Es imposible, por tanto, adoptar un solo espaciamiento que responda a todas las variables mencionadas.

Las plantas de yuca que crecen en una misma área compiten entre sí por agua, luz y nutrientes. Por tal razón, el espaciamiento ideal para cada variedad depende de la fertilidad del suelo o de la época de plantación; una vez determinado, habrá mejor distribución de los individuos en el campo y se logrará aprovechar con más eficiencia los factores de producción (Normanha, 1974).

En las áreas de producción de yuca de Río de Janeiro, en Brasil, se encontró que el espaciamiento a 1.20 m entre surcos dio mejores resultados dados los suelos de esa región. No hubo diferencias significativas entre 0.5 m, 0.7 m y 0.9 m de espaciamiento entre plantas respecto a la producción de raíces tanto de tipo industrial como comercial. El espaciamiento más usado en Colombia es de 1 m entre plantas y 1 m entre surcos.

Implementos mecánicos

La oferta tecnológica disponible actualmente para el cultivo de la yuca comprende varios implementos que incorporan la acción del hombre para poder operarlos correctamente.

Aún no se ha desarrollado la plantación mecánica de yuca y por eso se habla sólo de siembra o plantación semimecanizada.

Operación semimecanizada. La plantación semimecanizada comprende, inicialmente, el paso de un arado de cincel que rotura el suelo y deja líneas marcadas con un pequeño surco; posteriormente, las estacas se colocan manualmente dentro de cada surco de la línea, en forma horizontal, con la densidad deseada. Finalmente se cubren las estacas con suelo.

En otra práctica de plantación semimecanizada, el implemento es alimentado manualmente con estacas previamente cortadas al tamaño deseado. No se integra la fertilización del cultivo en el mismo pase del implemento en que se plantan las estacas.



Para Colombia y otros países suramericanos han sido de gran importancia los avances de Brasil en este campo. Los implementos brasileños han sido evaluados en las condiciones locales con buenos resultados, entre ellos la definición de los requisitos básicos para poder adaptarlos.

Monteiro (1963) reportó que una plantadora Sans fue probada en Brasil y realizó un trabajo perfecto a velocidades normales de operación empleando 8 hombres que plantaron 10 ha por día; anteriormente eran necesarios 30 hombres para plantar manualmente la misma área. Para comparar los resultados obtenidos se toma como base el trabajo de 6 hombres que plantan 1 ha en 1 día de 8 horas, es decir, que el rendimiento diario total es 1 ha, y el rendimiento diario por hombre es 1/6 ha (0.167 ha).

Modelos. Recientemente llegaron a Colombia dos modelos de sembradoras de yuca desarrolladas en Brasil, que fueron evaluadas por CLAYUCA. Se encontró que su rendimiento asciende hasta 9.2 ha/día si se utiliza un modelo de tres líneas, y hasta 6.2 ha/día si se utiliza un modelo de dos líneas; se emplean 3 y 2 hombres, respectivamente (Figura 7-6).

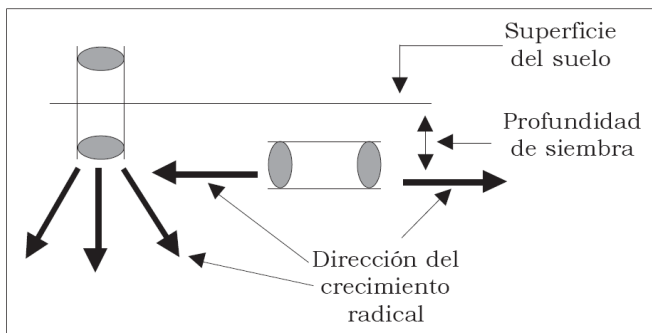


Figura 7-5. Esquema que muestra el crecimiento de las raíces de yuca según la posición en que se plantan las estacas.

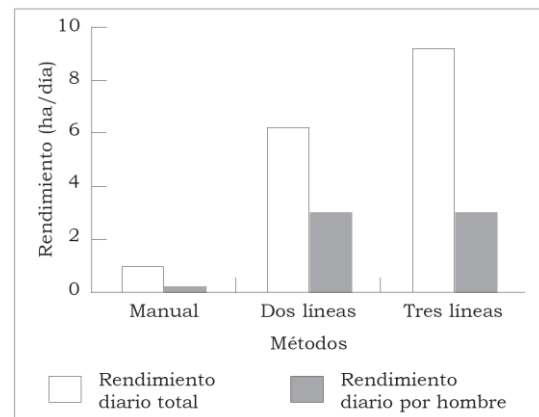


Figura 7-6. Rendimiento diario (total y por operario) del método semimecanizado de plantar estacas de yuca en Colombia.

El implemento para plantar estacas de yuca está conformado, en general, por los siguientes elementos:

- un sistema de abertura de surco de disco doble;
- un dispositivo para corte de la estaca que se planta (sierra o mandíbulas);
- un sistema de alimentación de estacas (manual);
- una tolva para fertilizar en banda;
- un patín para compactar el suelo sobre la estaca (la 'semilla') dejada en el surco; y
- un sistema de aporque.

Otro implemento más elaborado tiene un disco para romper la costra superficial de suelo, el cual se usaría en operaciones de siembra directa o cuando el suelo esté bastante endurecido o poco preparado.

Los sistemas de dos líneas pueden plantar estacas en los caballones, siempre y cuando el tractor lo permita, es decir, que puedan separarse las llantas a una distancia igual a la de dos surcos consecutivos.

Estos dos modelos de plantadora de estacas se presentan como la mejor alternativa del agricultor para reducir los costos de la operación manual y, por ende, los costos finales (Figura 7-7); la inversión es baja, y se



recupera en 1 año, cuando se siembran 30 ha. Hechas las evaluaciones y definidas las modificaciones que permitan un satisfactorio desempeño de las máquinas en nuestras condiciones, éstas se encuentran disponibles en el mercado local (Figuras 7-8 y 7-9).

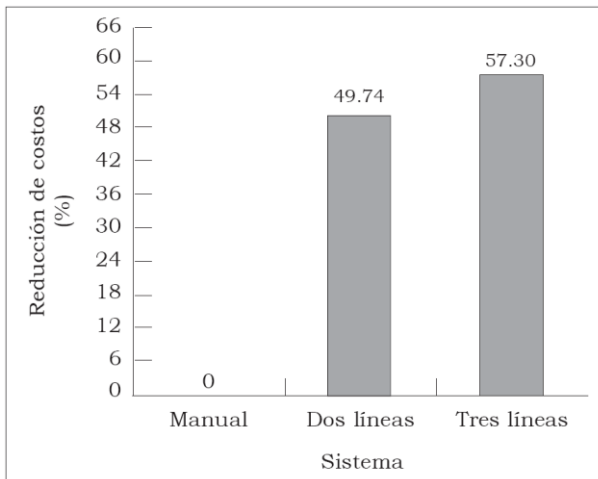


Figura 7-7. Reducción de costos de 'siembra' según el sistema de plantación adoptado (no hay reducción en plantación manual).



Figura 7-8. Implemento de dos líneas para plantar estacas de yuca. Su nombre comercial es Planticenter PC20.



Figura 7-9. Implemento de tres líneas para plantar estacas de yuca.

Estos implementos fueron diseñados en Brasil para labores en plano y en suelos arenosos. En Colombia fueron probados, junto con agricultores comerciales, en plano y en caballón, en suelos arenosos, francos, arcillosos, y en un plantío directo, en los departamentos de Valle del Cauca, Cauca, Quindío, Huila, Meta y Atlántico. Se definieron así las variaciones que deben hacerse en los modelos, si se quiere introducir esta tecnología en el país.

Sistema apropiado. Para tomar una decisión acerca del sistema mecanizado más conveniente en un caso dado, es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

- El tipo de tractor y su potencia disponible.
- El método de plantar estacas ('siembra' en plano o en caballones).
- Plantación convencional o directa.



La plantación mecanizada, por sí sola, no garantiza un mayor rendimiento ni un valor alto de ‘germinación’ de la estaca; condiciones indispensables son la estaca fresca y recién cortada, y una buen preparación del suelo. Las demás labores deben realizarse sin excepción.

Costos. La estructura de los costos de producción se modifica positivamente con la introducción de estas tecnologías; esto permite aumentar el área plantada y reducir los costos finales, lo que representa mayores ganancias. Además, cuando se obtienen altos rendimientos, los costos disminuyen; pero esto se logra si se garantizan las condiciones mínimas para que se desempeñe bien el implemento.

El agricultor debe incluir en su estructura de costos aquellos incurridos por la depreciación y el mantenimiento del implemento, para que sus cálculos se acerquen más a la realidad. La Tabla 7-1 presenta los resultados obtenidos recientemente por CLAYUCA en los trabajos de adaptación de tecnología de plantación (‘siembra’) mecanizada de yuca.

Tabla 7-1. Estructura general de costos (costo/ha) de la labor de plantación de estacas de yuca aplicando tres métodos, en la zona plana del departamento de Valle del Cauca, año 2000.

Actividades ^a	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total	RCD ^b (%)
‘Siembra’ manual					
Corte de estacas ^c	Jornal	5	10,000	50,000	
Insumos para tratamiento	Global			13,410	
Tratamiento de estacas	Jornal	0.5	10,000	5,000	
Plantación manual	Jornal	6	10,000	60,000	
‘Resiembra’	Jornal	1	10,000	10,000	
Total por labor				138,410	10.38
Costo total/ha				1,333,610	
‘Siembra’ en dos líneas					
Corte y apilada (varas)	Jornal	3	10,000	30,000	
Costo F y V de implemento	\$/hora	1.28	9,174	11,761	
Costo F y V de tractor	\$/hora	1.28	12,743	16,337	
Operarios plantación mecanizada	Jornal	0.32	10,000	3,200	
Jornal del tractorista	Jornal	0.16	21,000	3,360	
‘Resiembra’	Jornal	0.50	10,000	5,000	
Total por labor				69,658	6.41
Costo total/ha				1,086,350	
‘Siembra’ en tres líneas					
Corte y apilada (varas)	Jornal	3	10,000	30,000	
Costos F y V de implemento	\$/hora	0.87	8,600	7,482	
Costos F y V de tractor	\$/hora	0.87	12,743	11,086	
Operarios plantación mecanizada	Jornal	0.326	10,000	3,260	
Jornal del tractorista	Jornal	0.108	21,000	2,268	
‘Resiembra’	Jornal	0.50	10,000	5,000	
Total por labor				59,096	5.74
Costo total/ha				1,029,878	

a. F y V = fijos y variables (costos).

b. RCD = relación entre el costo de plantar estacas y el total de costos directos del cultivo, en porcentaje.

c. En lenguaje regional: picar la ‘semilla’.



Cosecha

Una de las labores más difíciles de mecanizar es la cosecha de la yuca, por las siguientes razones: las restricciones que provienen de la forma y la distribución de las raíces en el suelo, la profundidad en que se encuentran las raíces, los residuos de la recolección del forraje y del material de plantación (estacas), y el suelo adherido a las raíces.

La labor de cosecha constituye la etapa final del cultivo, cuya época o momento mejor es definido por el agricultor en función de la productividad del cultivo, del contenido de almidón de las raíces y de las propiedades culinarias de éstas. Esta operación es quizás la que más influye en la estructura de costos del cultivo, ya que demanda bastantes jornales (Tabla 7-2).

Tabla 7-2. Estructura general de costos (costo/ha) de la cosecha de yuca aplicando dos métodos (manual y semimecanizado), en la zona plana del departamento de Valle del Cauca, Colombia, año 2000.

Actividades ^a	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total	RCD ^b (%)
Cosecha manual					
Arranque de raíces	Jornal	25	10,000	250,000	
Empaque	Costal	180	90	16,200	
Cabuza	Rollo	1	5,500	5,500	
Total por labor				271,700	20.4
Costo total/ha				1,333,610	
Cosecha semimecanizada					
Costo F y V de implemento	\$/hora	1.14	4,014	4,576	
Costo F y V de tractor	\$/hora	1.14	18,203	20,751	
Arranque de raíces (operarios)	Jornal	10.5	10,000	105,000	
Tractorista	Jornal	0.15	21,000	3,150	
Empaque	Costal	180	90	16,200	
Cabuza	Rollo	1	5,500	5,500	
Total por labor				155,177	14.4
Costo total/ha				1,086,350	

En Colombia, la cosecha de la yuca representa más del 30% de los costos de producción, principalmente porque se usan métodos manuales y rudimentarios y, a veces, ineficientes. Se requiere, por tanto, un trabajo que mecanice un poco la cosecha, dado que cualquier método o dispositivo mecánico que pueda aumentar la eficiencia de esta operación contribuye también a reducir notablemente, no sólo los costos de producción (Figura 7-10), sino también la fatiga y el gasto de energía de los operarios que la ejecutan (Toro et al., 1976).

En la costa norte de Colombia se ha comprobado que, con un rendimiento promedio de 12.5 t/ha, se requieren 25 hombres en una jornada de trabajo de 8 horas (B. Ospina, comunicación personal). Por consiguiente, el rendimiento diario por hombre es de 500 kg/día (Figura 7-7). Esta labor de cosecha no incluye la recolección del material de plantación, la selección de las raíces y su empaque.

Cosecha manual

Esta operación se ejecuta en etapas:

- La primera comprende el corte y la selección del forraje (hojas de yuca, follaje) y de la 'semilla; se deja sólo una parte del tallo (de 20 a 40 cm de longitud) adherida a las raíces para que éstas puedan extraerse del suelo (el arranque) más fácilmente.
- La segunda comprende la extracción de las raíces y va acompañada de la recolección, la limpieza y el empaque de las mismas.



Estas tres últimas labores son comunes a todos los métodos de cosecha de la yuca, tanto manuales como mecánicos. En la cosecha manual se consideran cuatro modalidades:

Con la mano. En los suelos livianos o arenosos, las raíces se pueden arrancar fácilmente con la mano, sin la ayuda de ninguna herramienta.

Con palanca. En los suelos cuya textura va de franca a arcillosa y que presenten problemas de compactación, es necesario utilizar la siguiente técnica, que facilita la extracción: se amarra el tallo con cadenas o cuerdas a un palo que tenga de 2.5 a 3 m de largo y sea suficientemente recto y firme para que sirva de palanca contra el suelo.

Con arrancador. Esta técnica modifica la anterior. Se sujeta el tallo mediante un implemento de enganche a modo de tenaza que va unido a un palo de 2.5 m de largo o mayor (según la altura del operario); el enganche se sitúa a 30 cm del extremo del palo que se apoya en el suelo. Se engancha entonces el tallo por su parte inferior y se hace palanca hacia arriba como en la modalidad anterior (Figuras 7-11 y 7-12). Este equipo se usa comúnmente en algunas regiones productoras de yuca de Tailandia.

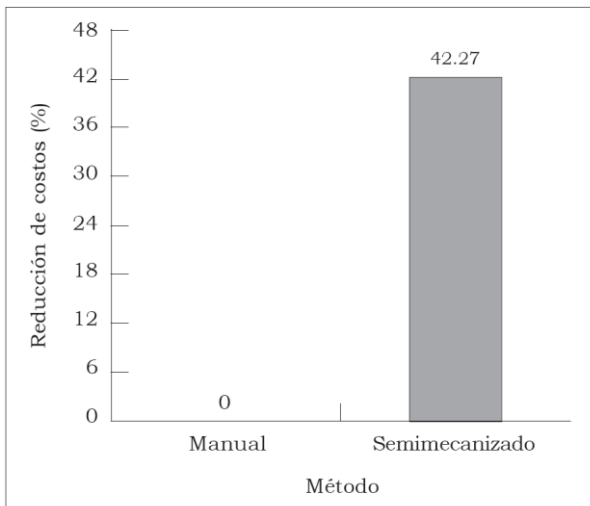


Figura 7-10. Reducción de los costos de cosecha (costo/ha) según el método empleado.



Figura 7-11. Operación de la palanca en el equipo tailandés.



Figura 7-12. Arrancador de palanca del equipo tailandés para cosecha.



Con cincha. En la zona cafetera de Colombia, donde los suelos son, generalmente, de textura mediana, se usa mucho una especie de correa que el agricultor se ata dándole vuelta por su espalda, pasándolo sobre su hombro y amarrándolo luego al tallo. El extremo de la correa que se amarra al tallo puede ser un lazo fuerte o una cadena. De esta manera, las manos sirven de agarre y dan vibración al tallo, y el cuerpo sirve de palanca.

Cosecha mecanizada

En este método (como en los demás), la cosecha de la yuca es más fácil si se ha plantado el cultivo en caballones o camas, y más difícil si está en el plano. Asimismo, la extracción de las raíces es más fácil en un suelo arenoso y suelto que en otro arcilloso o pesado, sin que importen el método de cosecha o la distribución de las raíces en el suelo.

Como ocurre con la operación de plantación de las estacas de yuca, los implementos para la cosecha de las raíces que se ofrecen comercialmente requieren la acción humana en el momento de extraer las raíces. En otras palabras, la acción de esos implementos consiste en aflojar el suelo y, en algunos casos, en voltearlo.

Los implementos cosechadores se han desarrollado partiendo del uso —común entre los agricultores— de los implementos de remoción del suelo, como zanjadoras, cinceles y arados de vertedera, para facilitar la cosecha (Figura 7-13).

Estos implementos trabajan a profundidades de 40 cm, en promedio, y son, por tanto, muy exigentes en potencia; pueden operar satisfactoriamente sólo si son movidos por tractores de 100 HP en adelante (Figura 7-14). De lo contrario, habrá mayores pérdidas porque la operación dejará raíces cortadas o enterradas.



Figura 7-13. Implemento flexible para cosechar yuca, cuando entra en el suelo.

Figura 7-14. Avance del tractor y el implemento en el campo.

Cosechadores. Briceño y Larson (1972) desarrollaron un cosechador con una cuchilla levantadora de 2 m de ancho, que trabaja sobre dos surcos acoplada a los tres puntos de enganche del tractor; su fuerza de arranque debe ser de 80 HP y tiene un rendimiento de 0.5 ha/hora. Trabaja bien en cualquier condición y tipo de suelo. Esta máquina superó el resultado de la cosecha manual respecto al menor número de raíces dejadas en el campo.



Recientemente se probaron en Colombia dos modelos de cosechadores traídos de Brasil (Figura 7-13); los evaluaron los ingenieros de CLAYUCA en departamentos de tradición yuquera como Quindío, Tolima, Huila y Valle del Cauca. Estos implementos constan, en general, de los siguientes componentes:

- Un disco para cortar la costra o cobertura del suelo.
- -Un elemento removedor de tierra, que puede ser otra cuchilla, un subsolador o un elemento similar.
- Un dispositivo que separa las raíces del suelo que se adhiere al implemento.

Operación. Cuando se planea utilizar un implemento de cosecha, deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

- **Humedad del suelo.** Cuando el suelo está seco es más difícil cosechar la yuca que cuando está húmedo. Sin embargo, la humedad debe ser tal que permita introducir la maquinaria en el lote y que impida una adhesión muy grande del suelo al implemento.
- **Densidad de siembra.** Estos implementos pueden aflojar el suelo de dos surcos simultáneamente, pues la envergadura de las “alas” de la cuchilla es de 1.2 m. Ahora bien, si los surcos están separados menos de 90 cm, es probable que se presenten pérdidas porque habrá raíces enterradas y cortadas; si es mayor que 1.2 m, las raíces no se aflojarán de manera satisfactoria.
- **Velocidad de operación del tractor.** Esta velocidad debe ser constante durante toda la operación de cosecha porque un cambio brusco en ella, cuando el implemento esté enterrado, hace variar la profundidad de trabajo del implemento, lo que aumenta las pérdidas por raíces cortadas o enterradas.

Para cuantificar el rendimiento y hacer comparaciones con la cosecha manual, es importante separar el rendimiento diario por hombre (ver Figura 7-9) y el rendimiento del implemento, que depende de la velocidad de avance del tractor.

La velocidad de operación que más se usa es 4 km/hora; puede aumentar, sin embargo, lo que depende de la humedad y de la textura del suelo. Por consiguiente, el rendimiento diario del implemento es de 6.4 ha, en promedio.

Conclusión

Los implementos antes descritos ya se encuentran en el mercado local y no representan una inversión grande para el agricultor; su uso evita, en cambio, costos considerables, como lo demuestra la estructura de costos de la cosecha de yuca (Tabla 7-2).

La Figura 7-15 muestra el cambio, en porcentaje, que experimentan algunas variables o rubros incluidas en las operaciones de plantación y cosecha de la yuca (jornales, mecanización, insumos) cuando se adoptan las tecnologías antes descritas en ambas operaciones de un mismo cultivo.

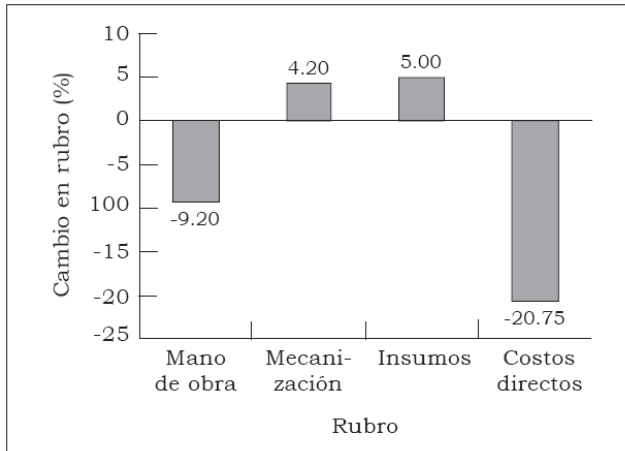


Figura 7-15 La adopción simultánea de las tecnologías de 'siembra' y de cosecha modifica (por reducción o aumento) los rubros contenidos en las Tabla 7-1 y 7-2 (respecto a 1 ha) para esas operaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Briceño P RH; Larson G. 1972. Investigación y desarrollo de una cosechadora de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Revista ICA 7(2):139-150.
- Cadavid L LF; El-Sharkawy MA; Acosta A; Sánchez T. 1998. Long-term effects of mulch, fertilization and tillage on cassava grown in sandy soils in northern Colombia. Field Crops Research 57:45-56.
- Carvajal R R. 1998. Los sistemas de labranza y su papel en la agricultura sostenible. Universidad de los Llanos Orientales. Cuadernos de Agronomía (Colombia) 3(4):33-37.
- Cock JH; Castro M A; Toro JC. 1978. Agronomic implications of mechanical harvesting. En: Weber EJ; Cock JH; Chouinard A (eds.). Proceedings. Workshop on Cassava Harvesting and Processing held in Cali, Colombia. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canadá. p. 60-65.
- Conceição AJ da. 1976. A mandioca. En: Curso Intensivo Nacional de Mandioca, Cruz das Almas, Brasil. Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, Bahia, Brasil. p. 435-440.
- Cuadra M A; Rodríguez M S. 1983. Estudio de diferentes métodos de plantación de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y su relación con el rendimiento en el ecosistema de la provincia de Guantánamo. Ciencia y Técnica en la Agricultura. Viandas Tropicales 6(1-2):51-60.
- Drummond AO. 1986. Plantío de mandioca em camalhões. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Belo Horizonte, MG, Brasil. 4 p.
- Gurnah AM. 1974. Effects of method of planting, the length and types of cuttings on yield and some yield components of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) grown in the forest zone of Ghana. Ghana Journal of Agricultural Science 7(2):103-108.
- Johnson IM; Kemp DC; Payne P. 1981. Mechanization of cassava production. National Institute of Agricultural Engineering, R.U. 17 p.



- Kemp DC. 1978. Harvesting: A field demonstration and evaluation of two machines. En: Weber EJ; Cock JH; Chouinard A (eds.). Proceedings. Workshop on Cassava Harvesting and Processing held in Cali, Colombia. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canadá. p. 53-57.
- Leihner D. 1978. Follow-up evaluation of two harvesting machines. En: Weber EJ; Cock JH; Chouinard A (eds.). Proceedings. Workshop on Cassava Harvesting and Processing held in Cali, Colombia. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canadá. p. 58-59.
- Lozano JC. 1978. Posibles efectos del ecosistema en algunas especies de cultivos tropicales. *Fitopatología Colombiana* 7(2):94-107.
- Lulofs RB. 1970. A study of method and costs for commercial planting of tapioca in Kedah. En: Blencowe EK; Blencowe JW (eds.). *Crop diversification in Malaysia*. Incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur, Malaysia. p. 149-166.
- Marín CA. 1997. *El campo y el medio ambiente: Un futuro en armonía*. Central Hispana, España.
- Monteiro FP. 1963. Valor economico da mandioca e trabalho mecanizado no cultivo. *Rural (Brasil)* 511(43):16.
- Normanha ES; Pereira AS. 1964. Cultura da mandioca. *Revista de Ciências Agronômicas (São Paulo)* 1:24-29.
- Normanha ES; Pereira AS. 1974. Resultados e experiencias sobre épocas de plantío da mandioca. *Revista de Agricultura (Piracicaba)* 22 (4/6):135-142.
- Odigboh EU. 1978. Una sembradora automática de dos surcos para estacas de yuca: Desarrollo, diseño y construcción del prototipo. *Journal of Agricultural Engineering Research* 23:109-116.
- Odigboh EU; Ahmed SF. 1982. A cassava harvester: Design analysis and prototype development. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America (Japan)* 13(3):40-48.
- Peipp L; Maehnert E. 1992. Development of a technical solution to cassava harvesting problem. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America* 23(1):33-36.
- Rangel H PO. 1982. Mecanización del cultivo de la yuca: Plantación, cosecha y aprovechamiento de la parte aérea. *Revista de la Facultad de Agronomía. Alcance* 31:135-141.
- Ribeiro FJ. 1996. *Cultura da mandioca*. Universidade Rural do Estado de Minas Gerais, Escola Superior de Agricultura, Viçosa, Brasil. 80 p.
- Rodríguez N A. 1980. Mechanical planting and cassava cultural practices in Cuba. En: Weber EJ; Toro M JC; Graham M (eds.). Proceedings. Workshop on Cassava Cultural Practices held in Salvador-BA, Brasil. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canadá. p. 118-119; 138-152.
- Solórzano H A. 1978. Resultados de investigación para la yuca. En: *Transferencia de resultados de investigación agropecuaria a los agentes de producción de la Región XII-Loreto*. Tarapoto, Perú. Centro Regional de Investigación Agropecuaria del Oriente y Cooperación IICA-Perú. v. 2, p. 19-31.
- Tan KH; Bertrand AR. 1972. Cultivation and fertilization of cassava. En: Hendershott CH et al. *A literature review and research recommendations on cassava*. University of Georgia, Athens, GA, E.U. p. 37-72.



- Testa A; Monteiro A; Domingo N; Lorenzi JO. 1985. Consideraciones sobre la cosechadora-cargadora de mandioca y su funcionamiento en el Instituto Agronómico de Campinas. Instituto Agronómico de Campinas, Brasil.
- Toro JC. 1979. Three years of cassava technology evaluation in Colombia. *Field Crops Research* 2:291-308.
- Toro JC; Celis E; Jaramillo E. 1976. Métodos de cosecha de yuca. En: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Curso sobre producción de yuca. Cali, Colombia. p. 225-232.
- Toro JC; Atlee CB. 1980. Agronomic practices for cassava production: A literature review. En: Weber EJ; Toro M JC; Graham M (eds.). *Proceedings. Workshop on Cassava Cultural Practices held in Salvador-BA, Brasil*. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canadá. p. 13-28; 138-152.
- Vine PN. 1980. Soil management for cassava. En: NAFPP Fourth National Cassava Workshop, Umudike, Nigeria. National Root Crops Research Institute, National Cassava Centre, Umudike, Nigeria. p. 115-119.