



MANUAL DEL CULTIVO DE YUCA

Manihot esculenta Crantz



Programa Regional de Investigación e Innovación por Cadenas de Valor Agrícola (UE/IICA)

*Innovación para la seguridad alimentaria
y nutricional en Centroamérica y Panamá*



MANUAL DEL CULTIVO DE YUCA

Manihot esculenta Crantz

Edgar Aguilar Brenes

Ana Segreda Rodríguez

Daniel Saborío Argüello

Jorge Morales González

Miguel Chacón Lizano

Ligia Rodríguez Rojas

Pablo Acuña Chinchilla (D.E.P.)

Sergio Torres Portuquez

Yannery Gómez Bonilla

2017



UNIÓN EUROPEA



Programa Regional de Investigación e Innovación por Cadenas de Valor Agrícola (UE/IICA)

*Innovación para la seguridad alimentaria
y nutricional en Centroamérica y Panamá*

631.52
C837c Costa Rica. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en
Tecnología Agropecuaria
Manual del cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) /
Edgar Aguilar Brenes [et al.]. – San José, C.R.: INTA, 2017.
91 p.
ISBN 978-9968-586-16-0
1. MANIHOT ESCULENTA 2. CULTIVO. 3. COSTA RICA.
I. Aguilar Brenes, Edgar [et al.]. II. Título.

Autor principal y compilador:

Ing. Edgar Aguilar Brenes, MBA.

Autores temáticos:

Ing. Ana Segreda Rodríguez, MIA. La agroindustria y el valor agregado, INTA
Ing. Daniel Saborío Argüello, M.Sc. Cosecha y poscosecha, INTA
Ing. Edgar Aguilar Brenes, MBA. Manejo Agronómico, INTA
Ing. Jorge Morales González, Ph.D. Uso de la yuca en la alimentación animal, INTA
Ing. Miguel Chacón Lizano. Semilla certificada, ONS
Ing. Ligia Rodríguez Rojas. Manejo de plagas, INTA
Ing. Pablo Acuña Chinchilla, M.Sc. (D.E.P). Reproducción de semilla, INTA
Ing. Sergio Torres Portuquez, M.Sc. Manejo agronómico, ITCR
Ing. Yannery Gómez Bonilla, Ph.D. Manejo de enfermedades y plagas, INTA

Editado por:

María Mesén Villalobos, INTA
Laura Ramírez Cartín, INTA

Comité Editorial del INTA:

Alfredo Bolaños Herrera
Carlos Cordero Jiménez
Juan Mora Montero
Laura Ramírez Cartín
María Mesén Villalobos
Nevio Bonilla Morales

Revisores técnicos:

Lic. Gaudy Ortiz Rivera, INTA
Ing. Jéssica Castillo Cruz, INTA
Dr. Pedro Hernández Fernández, MAG

Diseño y diagramación: Handerson Bolívar | www.altdigital.co

Costa Rica, 2017.

CONTENIDO

PRESENTACIÓN	5
INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO I	9
1.1. ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN	9
1.2. CLASIFICACIÓN BOTÁNICA	9
1.3. DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA	9
1.4. FENOLOGÍA DEL CULTIVO	10
1.5. CLIMA Y SUELOS	12
1.6. ZONAS DE CULTIVO Y ÉPOCAS DE SIEMBRA	14
1.7. VARIEDADES	14
1.8. SEMILLA	17
CAPÍTULO II	27
2.1. PREPARACIÓN DEL TERRENO	27
2.2. SIEMBRA	27
2.3. CONTROL DE MALEZAS	31
2.4. FERTILIZACIÓN	33
2.5. PLAGAS Y ENFERMEDADES	34
CAPÍTULO III	51
3.1. COSECHA	51
3.2. MANEJO POSCOSECHA	54
CAPÍTULO IV	59
4.1. IMPORTANCIA DEL VALOR AGREGADO	61
4.2. CARACTERIZACIÓN DE MATERIA PRIMA	61
4.3. PRODUCTOS ELABORADOS A PARTIR DE YUCA	62
CAPÍTULO V	65
5.1. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA ALIMENTACIÓN ANIMAL	65
5.2. POTENCIAL DE LA YUCA COMO ALIMENTO PARA ANIMALES	66
5.3. SIGNIFICADO NUTRICIONAL DE LA YUCA EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL	67
5.4. PROCESAMIENTO DE LA YUCA PARA LA ALIMENTACIÓN ANIMAL	70
CAPÍTULO VI	81
GLOSARIO	83
LITERATURA CITADA	87



PRESENTACIÓN

Este documento es uno de los productos generados como resultado de la ejecución del Programa Regional de Investigación e Innovación por Cadenas de Valor Agrícola (PRIICA), financiado por la Unión Europea (UE). El PRIICA fue administrado por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y liderado a nivel regional mediante los institutos nacionales de investigación agrícola (INIA). La coordinación en Costa Rica la llevó a cabo el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA).

El cultivo de yuca fue uno de los incluidos en el desarrollo de ese programa, el cual involucró diversos actores de los sectores público y privado en cuanto a aspectos de investigación y transferencia de tecnología.

La yuca es uno de los cultivos más adaptados a las condiciones climáticas de Costa Rica, donde la raíz de yuca es utilizada para el consumo humano y la alimentación animal. Una de las razones que impulsan la siembra de ese cultivo en Costa Rica y en otros países es la posibilidad de utilizarlo como sustituto de los cereales, como el maíz y el trigo. El alto costo de los cereales, generalmente importados, genera al país dependencia y aumento en los costos de producción.

A continuación, se presentan los principales aspectos agronómicos del cultivo de la yuca, como una herramienta para la actualización de los conocimientos en el buen manejo del cultivo. Las fotografías y los bosquejos incluidos en esta publicación forman parte del proceso de investigación y transferencia de tecnología en varias fincas del país y pertenecen a los autores; en caso contrario, se indica la fuente.

Ing. Edgar Aguilar Brenes, MBA
Instituto Nacional de Investigación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Departamento de Investigación e Innovación
eaguilar@inta.go.cr



INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es considerada como una de las principales fuentes de energía para 500 millones de personas en África, Asia y América (Bokanga 1999). La producción mundial de yuca fue superior a los 270 millones de toneladas en 2014. El 53,7 % fue producido por África, el 30,7 % por Asia y el 15,6 % por América. De acuerdo con la FAO (2016), el principal país productor de yuca en 2014 fue Nigeria, con 38,6 millones de toneladas, seguido por Brasil, Tailandia, Indonesia y la República Democrática del Congo, con 23,3, 21,5, 19,2 y 16,0 millones de toneladas, respectivamente, mientras que la producción de Costa Rica fue de 175 500 toneladas.

La yuca es un cultivo tropical con excelente adaptación a las condiciones climáticas de Costa Rica. Su siembra se realiza en numerosas unidades productivas de asentamientos campesinos de pequeños productores, quienes utilizan sistemas de producción diversificados con otras raíces tropicales, frutales y ganadería y en que el área sembrada de yuca es de 1-3 hectáreas. Su dinámica está en función del comportamiento de otras actividades productivas, como la siembra de piña y ñame. El área sembrada de yuca en Costa Rica ha estado en constante crecimiento: en 1990 se sembraron 3092 ha (SEPSA 2001), mientras que en el Censo Agropecuario de 2015 se reportó un área cultivada de 15 045 ha. Esto significa que se dio un incremento del área sembrada de casi cinco veces, como resultado del programa de diversificación de las exportaciones no tradicionales de la Iniciativa de la Cuenca del Caribe (MAG 1991).

Una de las razones que impulsan la siembra de yuca, tanto en Costa Rica como en otros países, es su demanda en la alimentación humana, debido al aumento de los precios de los cereales. Esto la convierte en una alternativa atractiva de sustitución del trigo y el maíz, en especial porque de la raíz de yuca se obtiene una harina de alta calidad.

El consumo interno es muy limitado y se utiliza principalmente para consumo fresco. El principal mercado nacional de la yuca es el Centro Nacional de Abastecimiento y Distribución de Alimentos (CENADA), al que en 2015 ingresaron 4310,5 toneladas, provenientes en su totalidad de la provincia de Alajuela, específicamente del cantón de San Carlos (CNP 2016).

Sin embargo, el principal estímulo al crecimiento de la producción de la yuca en Costa Rica ha sido la demanda internacional de este producto. El valor de las exportaciones de yuca pasó de USD 9,4 millones en 1990 a USD 66,9 millones en 2015, lo que representa un incremento de siete veces en el valor exportado en un lapso de 25 años (SEPSA 2001, CNP 2016). En 2015 el país exportó 92 947 toneladas de yuca a 23 países, lo que generó ingresos por USD 66,96

millones. El principal destino de las exportaciones costarricenses de yuca es el mercado de los Estados Unidos, al que se exportaron 69 660 toneladas (38,4 % de yuca congelada y 61,6 % de yuca fresca o parafinada). Dicho volumen, que constituye el 65,21 % del total de exportaciones, representó USD 56,2 millones de ingresos. En orden de importancia le siguen Holanda y España, con el 12 % del total de exportaciones cada uno (CNP 2016).

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DEL CULTIVO

1.1. ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN

La yuca es originaria del trópico americano y su área de distribución se extiende desde Arizona, Estados Unidos, hasta la cuenca del Plata en Argentina. Sin embargo, en la parte norte de Brasil es donde se han encontrado especies taxonómicamente más afines a *M. esculenta*. Las áreas donde se da la mayor diversidad de especies son las partes central, norte y oeste (Mato Grosso) de Brasil, la zona sur de México y Bolivia (León 1987, Bonierbale *et al.* 1997, Suárez y Mederos 2011).

1.2. CLASIFICACIÓN BOTÁNICA

La yuca pertenece a la familia Euforbiaceae, subfamilia Crotonoideae y tribu Manihotae. El género *Manihot* tiene más de 100 especies y muchas de ellas producen látex y ácido cianhídrico. Solamente *Manihot esculenta* tiene importancia económica (Suárez y Mederos 2011). La división entre las yucas amargas y dulces está dada por el contenido de ácido cianhídrico (HCN). Las yucas amargas son las que tienen el mayor contenido de HCN (>50 mg/L), poseen un mayor rendimiento y una mejor calidad de almidón. Las dulces poseen bajas concentraciones de HCN y son las preferidas para el consumo humano (León 1987, Aguilar 1991, Bonierbale *et al.* 1997, Ospina y Ceballos 2002).

1.3. DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA

La planta es un arbusto que puede medir de 1,5 a 4,0 metros de altura, se caracteriza por la presencia de tallos semileñosos y ramas en su parte media y superior. Las hojas están compuestas por 4 a 10 lóbulos, con pecíolos largos de 0,2 a 0,4 m, de color rojo, verde o púrpura uniforme o manchado. La yuca es una especie monoica, por lo que la planta produce flores masculinas y femeninas (figura 1). Las raíces son fibrosas, unas son utilizadas por la planta para la absorción de nutrientes y las otras se engrosan para almacenamiento de carbohidratos

[almidón). Este último tipo de raíces, a las que se les denomina raíces tuberosas, son la parte aprovechable y pueden tener un tamaño aproximado de 1 m, con un peso de 1-8 kg cada una, de forma cilíndrica, cónicas, fusiformes e irregulares. El color de la pulpa puede ser blanco o amarillo (MAG 1991).



Figura 1. Flor del cultivo de la yuca, variedad CM7951-5 (CIAT)¹.

1.4. FENOLOGÍA DEL CULTIVO

El ciclo de crecimiento de la yuca se puede dividir en tres etapas:

Etapas de crecimiento lento

Esta etapa comprende desde la siembra hasta los 60 días después de la siembra (dds). Se caracteriza por la brotación de las estacas, las cuales forman primero raíces (5-7 dds) y posteriormente se desarrollan los tallos y las hojas. El crecimiento de estas estructuras es lento; durante los primeros meses los productos de la fotosíntesis son utilizados por estos órganos para su crecimiento.

¹ Fotografía de la Ing. Jéssica Castillo Cruz, INTA, Costa Rica.

Etapa de máximo crecimiento

Este periodo abarca desde los 60 dds hasta los 150 dds. En esta fase los tallos se ramifican y las hojas crecen, alcanzando su máximo crecimiento a los 150 dds. Durante esta fase se lleva a cabo la mayor producción de biomasa (tallos y hojas) y se alcanza el mayor índice de área foliar. Además, a los 75 dds se inicia el proceso de formación de las raíces de almacenamiento y posteriormente se da la fase inicial del llenado o engrosamiento de esas raíces.

Etapa de senescencia

Esta fase va desde los 150 dds a la cosecha, que en el caso de la variedad Valencia se da 240-300 dds (8-10 meses después de la siembra). Esta fase se caracteriza por una disminución en la biomasa aérea, debido a un menor crecimiento de la producción de tallos y hojas. Disminuye el tamaño de las hojas, pero no su cantidad. Sin embargo, después de los 210 dds se reduce la producción de hojas, lo que acelera el proceso de senescencia de la planta e incrementa la traslocación de fotoasimilados a las estructuras de reserva o raíces de almacenamiento (Quirós y De Diego 2006).

En la figura 2, se presenta un bosquejo del ciclo de crecimiento de la yuca con sus respectivas características (Hernández 2014).

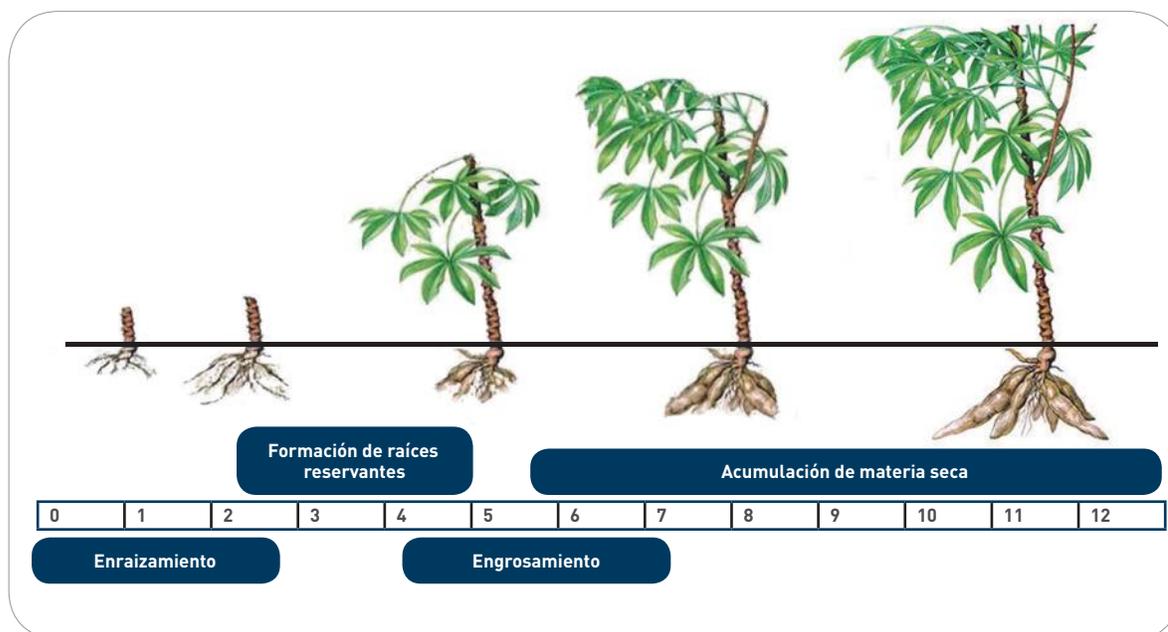


Figura 2. Ciclos de crecimiento de la yuca.

Fuente: Tomado de Hernández 2014:23.

En el crecimiento de las raíces tuberosas también se pueden diferenciar tres etapas:

Fase de tuberización

Inicia a los 30-45 dds, hasta el tercer o cuarto mes. En esta etapa se determina la cantidad de raíces tuberosas que tendrá la planta y la cantidad de ellas que engrosarán. En esta fase se inicia la acumulación de materia seca y almidón.

Fase de engrosamiento

Inicia en el tercer o el cuarto mes después de la siembra y termina en el sexto o séptimo mes.

Fase de acumulación

Inicia en el quinto o el sexto mes y se extiende hasta el final del ciclo. Esta fase es importante para la planta, pues si se afecta el área foliar, se afecta el contenido de materia seca y el rendimiento final (Cadavid 2011).

1.5. CLIMA Y SUELOS

Factores edafoclimáticos

Temperatura

La yuca es un cultivo que tolera un amplio rango de temperatura; sin embargo, esta puede afectar la brotación, el tamaño y la producción de hojas, el llenado de las raíces de almacenamiento y el rendimiento. El rango óptimo de temperatura es de 25-29 °C. (Cásseres 1986, Kumari *et al.* 2016). Sin embargo, el rango de tolerancia de este cultivo va de los 16 °C a los 38 °C; las temperaturas inferiores a los 16 °C afectan el crecimiento, debido a una menor producción de hojas, la poca formación de raíces tuberosas y un menor engrosamiento de estas (Kumari *et al.* 2016).

Precipitación

La yuca es una planta con amplia adaptación tanto a zonas secas como húmedas, aunque prefiere lluvia abundante y bien distribuida. La precipitación óptima es de 750 mm a 2000 mm. A pesar de que la planta puede resistir periodos secos, su desarrollo y rendimiento se ve afectado. En periodos prolongados de sequía se produce una disminución del follaje, se forman anillos leñosos en las raíces tuberosas y el rendimiento disminuye considerablemente

(figura 3), mientras que en las zonas con exceso de precipitación se presentan pudriciones de las raíces (Lardizabal 2009).



Figura 3. Plantación de yuca bajo estrés hídrico, Los Chiles, Alajuela.

Altitud

La yuca se puede sembrar desde el nivel del mar hasta los 1000 m s.n.m., desde las costas Caribe y Pacífica de nuestro país hasta la zona montañosa del Valle Central; sin embargo, para fines comerciales no se recomienda sembrar yuca arriba de los 600 m s.n.m., dado que su ciclo vegetativo es más largo y su rendimiento es inferior.

Fotoperiodo

Esta planta requiere de 10 a 12 horas luz, por lo que es un cultivo de fotoperiodo corto. Sin embargo, la yuca se adapta a días con fotoperiodos largos, debido a que tiene la capacidad de realizar fotosíntesis como una planta C3 o C4 (Quirós y De Diego 2006).

Suelo

La producción de yuca se puede realizar casi en cualquier tipo de suelo. Sin embargo, suelos muy pesados o arcillosos o suelos con muchas piedras u otro tipo de obstáculos no son recomendados para la siembras comerciales, pues no permiten un adecuado desarrollo de las raíces tuberosas.

Los suelos óptimos para la producción de este cultivo son los de textura franca, con una profundidad mayor a los 60 cm, bien drenados, que permitan un adecuado desarrollo de las raíces tuberosas, con una pedregosidad inferior al 5 % y sin encharcamiento. En zonas donde existe este problema, la yuca se debe sembrar en lomillos o montículos para evitar la pudrición de las raíces. Además, estos suelos deben ser muy fértiles, ricos en materia orgánica y con un pH de entre 5,5 y 6,5 (Arroyo *et al.* 2003).

1.6. ZONAS DE CULTIVO Y ÉPOCAS DE SIEMBRA

En Costa Rica, la mayor región productora de yuca es la Huetar Norte, con 9853,2 ha sembradas, destacándose los cantones de San Carlos y Los Chiles. Le sigue la región Huetar Caribe, con 2079,5 ha sembradas, principalmente en los cantones de Guácimo y Pococí, con un rendimiento promedio de 16,5 t/ha (INEC 2015). En la región Huetar Caribe la yuca se puede sembrar en cualquier época del año y en las otras localidades al inicio de las lluvias.

1.7. VARIEDADES

En Costa Rica las variedades más producidas son la Valencia y la Señorita; sin embargo, existen otras variedades que son producidas en menor escala, como por ejemplo las variedades Mangí, Brasileña y las de pulpa amarilla (figuras 4, 5, 6 y 7).

La variedad Valencia es la que presenta mayor demanda en el mercado, tanto en el nacional como en el internacional, y también es cultivada en pequeñas áreas para la alimentación familiar. Se caracteriza por la presencia de un pecíolo de color morado, hoja en forma lanceolada y un pedúnculo (estructura que une el tallo con la raíz) pronunciado, característica importante para el parafinado de la yuca, pues evita daños en la parte proximal en el momento de la cosecha. La yuca es corta y de forma cónica, característica deseable principalmente para el mercado fresco o parafinado.



Figura 4. Plantas de yuca variedad Valencia.

La variedad Señorita se caracteriza por la presencia de puntos de crecimiento o cogollos de color bronceado, yucas alargadas, utilizadas principalmente para congelado y para la producción de hojuelas. Sin embargo, esta variedad tiene un periodo de oxidación muy corto, por lo que debe ser procesada o consumida muy rápido luego de la cosecha.



Figura 5. Plantas de yuca variedad Señorita.



Figura 6. Raíces de yuca de pulpa amarilla.



Figura 7. Corte transversal de raíz de yuca de pulpa amarilla.

1.8. SEMILLA

La planta de yuca se propaga asexualmente a partir de estacas o esquejes del tallo. De acuerdo con la disponibilidad del material inicial y de los objetivos de la plantación, se pueden utilizar tres técnicas principales:

Megapropagación

La yuca se propaga vegetativamente por medio de estacas que provienen de la parte intermedia del tallo de plantas maduras. Las estacas deben tener una longitud de 0,25-0,30 m y 5-8 yemas, libres de plagas y enfermedades y sin daños mecánicos. Tallos muy jóvenes no deben ser seleccionados como material de propagación, debido a que el tejido es muy tierno y succulento, lo cual los hace susceptibles al ataque de patógenos o a la deshidratación. Tampoco se deben seleccionar tallos muy viejos, ya que presentan yemas con poca viabilidad y brotes poco vigorosos (figura 8).



Figura 8. Almacenamiento tradicional de semilla de yuca en finca.

Un requisito indispensable para obtener material de siembra de buena calidad es conocer la procedencia y el comportamiento de este material. Las mejores estacas son aquellas que provienen de plantas sanas, vigorosas y recién cosechadas. Si el material de siembra se debe almacenar, los tallos se colocan en lugares sombreados, secos y en posición vertical para evitar la brotación. El corte de las estacas se realiza uno o dos días antes de la siembra (figura 9).



Figura 9. A: corte de semilla de yuca con “patín eléctrico”; B: semilla lista para la siembra.

Se recomienda curar la semilla usando el método de la inmersión, el cual consiste en sumergir las estacas en una solución con fungicida e insecticida durante cinco a diez minutos; después se coloca en un lugar seco y ventilado para su secado y cicatrizado, al menos un día antes de la siembra.

En la región Caribe, la estaca se siembra en posición inclinada; según los productores, esto facilita el arranque y causa menos daño cuando se trata de yuca fresca o parafinada. En la región Huetar Norte, en cambio, la yuca se siembra en posición horizontal, método que genera una mayor cantidad de brotes en la semilla.

Macropropagación

El objetivo de esta técnica es generar la máxima cantidad posible de estacas a partir de una planta mediante la estimulación de las yemas axilares del tallo y la producción de miniestacas. Esta técnica se recomienda cuando se dispone de poco material y se requiere producir gran cantidad de semilla en el corto plazo.

Técnicas de macropropagación por brotes axilares

Primera fase (30 días)

- Cortar estacas de 25 cm de longitud.
- Desinfectarlas durante 10 minutos en solución para este fin.
- Colocarlas en camas de enraizamiento o bandejas (figura 10). Las camas de enraizamiento pueden estar provistas de fibra vegetal (aserrín) y las bandejas de sustrato de arena-tierra en una relación de 3:2.

- Rotular los recipientes con la fecha y el nombre del cultivar.
- Las estacas deben recibir riego por microaspersión (10 seg/h).
- Las estacas producen un promedio de 2,7 brotes a los 30 días.



Figura 10. Estacas en cama de enraizamiento para estimular la producción de brotes axilares.

Segunda fase (30 días)

- Cuando los brotes alcanzan 20 cm de altura, se cortan con una navajilla desinfectada a la altura de dos nudos de la base, para permitir la producción de nuevos brotes a partir de las yemas axilares persistentes.
- En cada corte se debe desinfectar la navajilla.
- Las estacas deben cortarse a unos 10 cm de longitud, dejando solo las dos últimas hojas.
- Las estacas se colocan en agua de 10 a 15 minutos para que secreten látex y se selle la herida del corte.
- Luego se pasan por un desinfectante y se colocan en frascos rotulados con el material a sembrar y bien lavados y con agua.
- Los frascos con los brotes se colocan dentro de un túnel de plástico transparente, hasta que se formen raíces adventicias (figura 11).
- Para evitar la formación de algas y bacterias, todos los días se debe lavar los frascos y cambiar el agua.



Figura 11. Brotes colocados en agua dentro de una cámara húmeda para favorecer la producción de raíces y evitar la deshidratación.

Tercera fase (30 días)

- Los brotes con raíces se siembran en bolsas (10 x 15 cm) con sustrato arena-tierra en proporción 1:1 y se colocan bajo condiciones de invernadero con alta humedad relativa (figura 12).
- Las plantas son fertilizadas con una solución de N-P-K.
- Una vez que las plantas estén bien establecidas, se trasladan a “casa sombra” y se fertilizan con fertilizante líquido a razón de 1 g por planta dos veces por semana.



Figura 12. Plantas regeneradas a partir de brotes axilares producidos por estacas.

Técnicas de macropropagación por miniestacas

- Seleccionar plantas madres sanas de al menos 6 meses de edad.
- Cortar la planta a una altura de 20 cm de la superficie del suelo, lo que permitirá obtener nuevos brotes.
- Cortar estacas de dos nudos cada una para obtener las miniestacas.
- Desinfectar las miniestacas sumergiéndolas en una solución para este fin por diez minutos.
- Sembrar las miniestacas en bolsas de almácigo (10 x 12 cm) con sustrato esterilizado de arena-tierra con la proporción 3:2 (figura 13).
- Adicionar a la siembra el sustrato una solución fertilizante de N-P-K.
- Colocar las bolsas bajo condiciones controladas de sombra y
- Fertilizar cuando los brotes tengan dos hojas y posteriormente cada semana con fertilización líquida.
- Atomizar las plantas para combatir las plagas y las enfermedades.
- Evaluar dos o tres veces por semana la sobrevivencia de las estacas y la producción de brotes. En una prueba realizada en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos de la Estación Experimental Los Diamantes, a los 20 días de sembradas las miniestacas presentaron un 100 % de sobrevivencia y un promedio de 1,57 brotes de 14 cm por miniestaca.
- Las plantas pueden ser transferidas al campo a partir de los 30 días de edad.



Figura 13. Miniestacas de dos yemas cultivadas en bolsa.

Micropropagación

Consiste en la multiplicación de plantas a partir de microestacas de 1 cm de longitud en condiciones controladas de laboratorio. Esta técnica denominada “cultivo de tejidos vegetales” requiere equipo y personal especializado para la multiplicación clonal del material *in vitro* e instalaciones de invernadero para el endurecimiento de las plantas.

Las técnicas de propagación *in vitro* han resultado de gran utilidad para la solución de problemas fitosanitarios, ya que permiten una rápida multiplicación de material libre de plagas y enfermedades. El cultivo de tejidos puede definirse como un conjunto de técnicas que permiten el cultivo en condiciones asépticas de órganos, tejidos, células y protoplastos empleando medios nutritivos artificiales. Dentro de sus principales aplicaciones prácticas están:

- Obtención de plantas libres de patógenos.
- Propagación masiva de plantas, en periodos cortos de tiempo, independientemente de las condiciones ambientales, de manera uniforme y en un espacio reducido.
- Conservación de germoplasma.
- Intercambio internacional de germoplasma al reducirse las barreras cuarentenarias (CIAT 1991, Pérez 1998, Escobar *et al.* 2012).

Las yemas que se introducen en cultivo *in vitro* deben ser producidas previamente en invernadero, bajo condiciones semicontroladas para disminuir los riesgos de contaminación por hongos y bacterias endógenos. Dependiendo de la cantidad de material madre disponible, las yemas que se introducirán en la micropropagación pueden provenir de las estacas producidas con la técnica de macropropagación.

Establecimiento y multiplicación in vitro

- El material madre proveniente de invernadero se somete a una desinfección superficial a fin de eliminar contaminantes.
- Con ayuda de pinzas y bisturí se preparan miniestacas de un nudo de 1 cm de longitud.
- En cámara de flujo laminar (la cual brinda condiciones de asepsia), las miniestacas (explantes) son introducidos en los frascos con el medio de cultivo.
- Almacenar el explante en el cuarto de cultivo, bajo condiciones controladas (24-26 °C, fotoperiodo 16 horas luz y 2800 lux de intensidad lumínica).
- Cada semana evaluar la contaminación.
- Después de 45 días, transferir el explante a un nuevo medio de cultivo en condiciones asépticas en la cámara de transferencia (figura 14).

Cada 30 días subcultivar el explante a medio fresco en condiciones asépticas en la cámara de transferencia; se recomienda cultivar en frascos diferentes las miniestacas de los nudos de las estacas apicales.



Figura 14. Explantes de yuca. A: brote axilar de una miniestaca establecida *in vitro*; B: plántulas en desarrollo.

Endurecimiento

Este proceso, que es primordial para lograr el mayor porcentaje de sobrevivencia de plantas, depende de múltiples factores, como la calidad de la planta, la destreza en la manipulación del material y las condiciones de cultivo, entre otras.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- Llenar bolsas con sustrato estéril arena-tierra (3:2) (bolsas de 10 cm x 12 cm).
- Adicionar al sustrato 5 ml de solución fertilizante N-P-K.
- Lavar las raíces de las plantas para eliminar el medio de cultivo, con suficiente agua destilada.
- Colocar la vitroplanta de 5 cm de altura sobre el sustrato y adicionar más sustrato.
- Adicionar 5 ml de solución fertilizante.
- Colocar la bolsa con la planta en una microcámara húmeda, formada con una bolsa plástica transparente. Cerrar bien para evitar el escape de vapor de agua. Colocar bajo sombra en el invernadero. La condensación de agua en las paredes internas de la microcámara indica que la bolsa plástica se encuentra bien cerrada y que la humedad relativa interna es de 100 %.

- Mantener microcámara cerrada durante los primeros 10 días. Abrir la microcámara por las noches y días nublados entre 10-14 días.
- A partir del quinceavo día, sacar la planta de la microcámara húmeda y dejar en invernadero bajo condiciones de sombra (80 %) por al menos otros 15 días. Este primer mes de cultivo es crucial para el endurecimiento de las plantas; se recomienda evitar el exceso de humedad (figura 15).
- Evaluar diariamente la sobrevivencia. Eliminar bolsas con plantas muertas para evitar la infección con microorganismos saprófitos.
- Regar las plantas todos los días evitando excesos.
- Fumigar las plantas con una solución de fertilizante foliar (20-20-20 1g/L) y fungicida (Benomil 1g/L) dos veces por semana.
- Después de 15 días trasladar las plantas al vivero o a casa sombra, lo que debe registrarse en la boleta.



Figura 15. Plántulas de yuca micropropagadas por cultivo de tejidos en fase de endurecimiento.

Semilla certificada

El uso de semilla certificada en yuca es importante para asegurar que el cultivo que se establecerá esté libre de plagas y enfermedades; con ello se logrará un manejo más sostenible del sistema al disminuir los costos de producción, un menor uso de agroquímicos y un incremento en los rendimientos y mejor calidad del producto.

La certificación de semilla es posible en aquellas variedades con características genéticas reconocidas, provenientes de evaluaciones comparativas y que han demostrado un comportamiento adecuado bajo las condiciones agroambientales evaluadas. Estas variedades deberán estar inscritas en el Registro de Variedades Comerciales de acuerdo con la Ley de Semillas y su Reglamento (ONS 2014).

Las categorías de semilla certificada que se pueden adquirir son:

Semilla prebásica

Plantas libres de enfermedades producidas *in vitro* aclimatadas o no.

Semilla fundación

Se refiere a la primera producción de estacas obtenidas a partir de la siembra en campo de las plantas *in vitro*.

Semilla certificada A

Se le asigna esta categoría a las estacas producidas a partir de la semilla fundación.

Semilla certificada B

Estacas procedentes de la siembra en campo de la semilla certificada A.

Semilla certificada C

Estacas que se producen a partir de la siembra en campo de la semilla certificada B.

Para realizar el proceso de certificación de semilla, los lotes deben estar libres de las siguientes enfermedades y plagas: *Diplodia manihotis*, *Fusarium solani*, *Fusarium oxysporum*, *Sphaceloma manihoticola* (super alargamiento), *Xanthomonas axonopodis p.v. manihotis* (mancha bacterial), virus – fitoplasma (cuero de sapo), *Erwinia carotovora* (pudrición bacterial del tallo), *Agrobacterium tumefaciens* (agalla bacterial del tallo), *Colletotrichum* sp. (antracnosis) y *Phoma* sp. (mancha de anillos circulares). También deberán estar libres de las siguientes plagas: barrenadores del tallo, ácaros, escamas, trips, coleópteros, comején y chinches. Se eliminarán aquellas plantas que presenten algún síntoma de patógenos de carácter sistémico y se prestará atención especial a plantas afectadas por “cuero de sapo”.

CAPÍTULO II

MANEJO AGRONÓMICO DEL CULTIVO

2.1. PREPARACIÓN DEL TERRENO

La preparación del suelo es una de las labores más importantes del cultivo de yuca, que requiere suelos sueltos, profundos, bien drenados y libres de obstáculos para permitir un adecuado desarrollo de las raíces tuberosas y facilitar la cosecha. Se puede realizar por medio mecánico (tractores) o por medio de la tracción animal. Se recomienda utilizar un arado de cincel o un subsolador que permita romper las capas del suelo, posteriormente pasar la rastra (incluso hasta dos veces) y por último el alomillador.

En pequeñas plantaciones se utiliza mínima labranza: se realiza una chapea, se aplica algún herbicida y finalmente se siembra. Este sistema es utilizado por pequeños productores para consumo familiar y venta de producto para mercado local (MAG 1991).

2.2. SIEMBRA

Se utilizan varios métodos: en lomillo, en plano, en surcos y en camas. La selección del método de siembra dependerá del tipo de suelo, la precipitación, la disponibilidad de equipo agrícola y la mano de obra y el mercado.

Siembra en lomillo

La siembra en lomillo se utiliza mayormente cuando el mercado destino es para yuca parafinada o congelada, ya que favorece el crecimiento y el desarrollo de las raíces; además, este sistema ayuda a evitar la pudrición de las raíces en zonas de alta precipitación (figura 16).



Figura 16. A: preparación de terreno; B: lomillo listo para la siembra.

Siembra en plano

Se usa en terrenos en que el suelo tiene un buen drenaje, es profundo y su textura es franca o en lugares con una moderada precipitación. En este sistema se puede preparar el terreno con equipo agrícola o realizar la siembra solo con la ayuda de un implemento para favorecer la siembra de la estaca.

Siembra en surcos o rayado

Se utiliza en terrenos que poseen suelos con textura franca, profundos y con un buen drenaje. La formación de los surcos se hace con la ayuda de equipo mecánico o con tracción animal. La estaca se coloca acostada en el fondo del surco y posteriormente es tapada con suelo. Este sistema es usado principalmente para la siembra de grandes extensiones y se presta para la mecanización del cultivo. La siembra en surcos no requiere la utilización de mucha mano de obra, lo que disminuye los costos de producción.

Siembra en camas

Se requiere construir camas de dos metros de ancho, sembrando dos hileras de estacas por cama, para lo cual se utiliza un tipo de maquinaria específica conocida como “encamadora”, similar a la utilizada en el cultivo de piña.

Posición y siembra de la estaca

La estaca puede ser colocada en posición vertical, inclinada u horizontal. La posición de la estaca inclinada con un ángulo de 45 grados permite sujetar la planta y hacer un movimiento de palanca durante la cosecha manual. Otra ventaja de colocar la estaca en esta posición es la disminución del porcentaje de yucas quebradas o dañadas durante la cosecha. La posición de la estaca inclinada se recomienda para las siembras con destino a mercado de yuca parafinada.

La siembra de la yuca en pequeñas extensiones se realiza manualmente, mientras que en grandes extensiones se realiza con máquina sembradora, la cual abre el surco, deposita la estaca, aplica el fertilizante granulado, cubre la estaca con suelo y aplica el pre-emergente (figura 17).



Figura 17. Siembra mecanizada de yuca.

La posición horizontal se utiliza para la siembra mecanizada de grandes extensiones. Ante la presencia de altas precipitaciones y limitado drenaje, se corre el riesgo de pudrición de la estaca. Sin embargo, este sistema estimula una mayor formación de raíces tuberosas y un mayor rendimiento.

Distancia de siembra

La selección de la distancia de siembra depende de la variedad, la fertilidad del suelo, la mecanización y el mercado destino.

La distancia de siembra varía de 0,4 a 1,0 m entre plantas y de 1,0 a 1,5 m entre surcos o lomi-llos. En la siembra en plano se puede utilizar una distancia de 0,5 a 0,6 m entre plantas y 1,0 m entre calles.

En suelos pobres se recomienda sembrar de 8000 a 10 000 plantas por hectárea, usando mayores distancias entre plantas y entre calles.

En suelos fértiles una densidad óptima oscila entre 17 000 y 20 000 plantas por hectárea para siembras comerciales (figura 18).



Figura 18. Siembra de yuca con cobertura de canavalia (*Cannavalia* spp.).

2.3. CONTROL DE MALEZAS

Es importante realizar un adecuado control de malezas, que puede ser manual, químico o mixto (figura 19). El periodo crítico de este cultivo son los primeros tres meses después de la siembra (MAG 1991).

Para un manejo más amigable con el ambiente se puede utilizar un herbicida antes de la siembra y posteriormente la combinación de deshierbas manuales cerca de la planta y la aplicación de herbicidas o también se puede utilizar una chapeadora (desbrozadora) entre hileras o lomillos.



Figura 19. Plantación de yuca con un adecuado control de malezas.

Una opción de control de malezas es el uso de coberturas con leguminosas como frijol (*Phaseolus vulgaris*) (figura 20) o canavalia (figura 21), que se siembran entre las hileras o lomillos o en el borde del lomillo alrededor de un mes después de la siembra de la yuca; en el caso de canavalia, se requieren 10-15 kg de semilla por hectárea (figuras 20 y 21).



Figura 20. Cultivo de la yuca intercalado con frijol como alternativa para controlar malezas.



Figura 21. Siembra de canavalia a ambos lados de la yuca.

2.4. FERTILIZACIÓN

La yuca es un cultivo que extrae grandes cantidades de nutrientes, principalmente de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg). El orden de extracción de los nutrimentos es el siguiente: $K > N > Ca > Mg > P$. En algunos casos, cuando los suelos son muy fértiles o no han sido utilizados en agricultura, los productores no ven la necesidad de fertilizar.

Si se realizan siembras continuas y no se fertiliza, se disminuyen considerablemente los rendimientos y la calidad del producto, por lo que se requiere la reposición de los nutrientes extraídos por el cultivo. En suelos pobres se recomienda aplicar fertilizantes químicos u orgánicos, evitar siembras sucesivas del mismo cultivo y dejar el terreno en barbecho o hacer una rotación de cultivos.

La tasa de absorción y acumulación de nutrientes es lenta durante los dos primeros meses y se incrementa a partir del segundo mes hasta los 4 o 5 meses; luego la absorción decrece o se mantiene constante hasta el final del ciclo del cultivo. La yuca extrae en promedio 4,42 kg/ha de N; 0,67 kg/ha de P; 3,58 kg/ha de K; 1,36 kg/ha de Ca; 0,82 kg/ha de Mg y 0,42 kg/ha de S, que corresponde a una extracción media de nutrientes por tonelada de raíces frescas (Cadavid 2011).

La yuca no se debe encalar con más de una tonelada de $CaCO_3$ por hectárea, ya que el exceso de este nutriente produce resultados negativos en el suelo y en los cultivos, entre ellos la destrucción de la estructura, el aumento de la velocidad de la descomposición de la materia orgánica y la inmovilización de nutrientes como hierro, manganeso, zinc, boro y cobre (Cadavid 2011).

Se recomienda realizar el análisis de suelo antes de la siembra del cultivo para hacer una adecuada planificación de la fertilización. En términos generales se pueden aplicar seis sacos de 45 kg de 10-30-10 o 12-24-12 por hectárea, cuando ocurre la mayoría de la brotación cerca de los 22 días después de la siembra. Tres meses después de la brotación se recomienda aplicar seis sacos de 45 kg de 15-3-31 o 18-5-15-6-2 por hectárea. Esta última fertilización puede hacerse fraccionada en dos aplicaciones con un mes entre ellas, para un mejor aprovechamiento del fertilizante (MAG 1991).

Una buena práctica es la incorporación de abonos verdes como la mucuna (*Mucuna* spp.) antes de la siembra como una alternativa para mantener la fertilidad de los suelos (Salazar 2004).

2.5. PLAGAS Y ENFERMEDADES

Enfermedades fungosas

Sarna o super alargamiento de la yuca (Sphaceloma manihoticola)

Su mayor incidencia se registra en la época de lluvia. Crece inicialmente sobre la epidermis del hospedante, y luego de su penetración, invade los espacios intercelulares de los tejidos de la epidermis y la corteza, donde se producen giberelinas, que promueven el crecimiento exagerado de los entrenudos de la planta. Los síntomas son chancros elípticos que sobresalen en el tejido normal en hojas, tallos y pecíolos. Estos chancros tienen una coloración amarilla y su tamaño varía dependiendo de la parte afectada, la edad y las condiciones favorables para su desarrollo; además, se observa distorsión o enroscamiento de las hojas jóvenes y chancros en las nervaduras, visibles en el envés (Álvarez y Mejía 2004). El tallo afectado es delgado y débil (figura 22). Esta enfermedad se observa en las zonas más productoras de Costa Rica. En variedades como Valencia y Señorita generan una disminución significativa del rendimiento cuando la incidencia se manifiesta desde las primeras etapas del cultivo.

Manejo y control: Entre las medidas preventivas se encuentran la selección de estacas sanas, la resistencia varietal y el tratamiento de las estacas en soluciones con cobre o benomil (Ospina y Ceballos 2002).



Figura 22. Planta de yuca de la variedad Valencia con sarna (*Sphaceloma manihoticola*).

Mancha parda de la hoja (Cercospora henningsii)

Es una de las enfermedades más importantes de la yuca. Los síntomas que provoca son manchas de color café rojizo, más definidas en el haz y menos en el envés y de forma irregular, cuyos bordes están rodeados de una zona color amarillento (figura 23). Las venas cercanas a las lesiones circulares pueden aparecer de color negro. Las hojas situadas en la parte baja de la planta son más susceptibles de ser atacadas (Contreras 1991).

Manejo y control: Para disminuir la severidad de la infección se recomiendan prácticas agronómicas que permitan reducir los excesos de humedad. Para controlar la enfermedad se recomienda aplicar fungicidas a base de óxido de cobre y oxiclورو de cobre suspendidos en aceite mineral (Ospina y Ceballos 2002).



Figura 23. Hoja de yuca con mancha parda (*Cercospora henningsii*).

Mancha blanca de la hoja (Phaeoramularia manihotis)

El patógeno puede causar defoliación. Las lesiones son pequeñas, circulares o angulares, blancas o marrón-amarillentas y están hundidas en ambos lados. El borde de las lesiones es de color difuso en el envés y aparece como una línea irregular pardo-violeta; la lesión está rodeada de un halo amarillento (figura 24). Los ciclos secundarios de la enfermedad se repiten en toda la época lluviosa, debido a la dispersión de las conidias por el viento y a las salpicaduras del agua de lluvia (Ospina y Ceballos 2002).



Figura 24. Hoja de yuca con mancha blanca.

Manejo y control: Las medidas de control para esta enfermedad son las mismas recomendadas para la “mancha parda”.

Enfermedades bacterianas

Putridión bacteriana (Xanthomonas manihotis)

Se considera una de las enfermedades más limitantes en la producción de yuca en las áreas donde se ha reportado, ocasionando pérdidas de hasta el 100 %. La bacteria penetra al hospedero por las estomas y las 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. Los síntomas son manchas pequeñas angulares, de apariencia acuosa en el envés y luego crecen cubriendo totalmente la hoja. Provoca el marchitamiento de las hojas y la exudación de goma. La enfermedad a veces aparece en el extremo de las ramas, secándose las hojas nuevas. El principal medio de dispersión son las estacas infectadas, la salpicadura de lluvia y las herramientas contaminadas (Ospina y Ceballos 2002).

Manejo y control: Se recomienda la siembra de variedades resistentes, la utilización de material sano, el tratamiento de las estacas sumergiéndolas durante 5 minutos en fungicidas cúpricos, los buenos drenajes, el control de malezas, el uso de barreras de maíz o sorgo y la erradicación de plantas enfermas (Ospina y Ceballos 2002).

Pudrición bacterial del tallo (Erwinia carotovora pv carotovora)

Es de baja incidencia en las plantaciones. En los entrenudos del tallo se observan perforaciones alargadas, rodeadas por un exudado, hechas por insectos del género *Anastrepha*, agentes diseminantes de la bacteria. Las plantas afectadas muestran marchitez del cogollo (Ospina y Ceballos 2002).

Cuero de sapo

Esta enfermedad se manifiesta en las raíces del cultivo de la yuca. Su agente causal es una forma de bacteria llamada fitoplasma y/o reovirus. Los fitoplasmas son bacterias sin pared celular que se mueven por el floema de la planta y pueden ser transmitidas por insectos principalmente (Gómez *et al.* 2015).

Las raíces de las plantas enfermas son leñosas, de cáscara gruesa, corchosa y quebradiza, las cuales presentan unas hendiduras en forma de labios, que unidas entre sí, semejan una red o panal (figura 25). El aumento del grosor en los tallos está relacionado con la falta de acumulación del almidón en las raíces. La parte aérea de las plantas enfermas se observan más vigorosas y en apariencia mejor desarrolladas que las sanas.



Figura 25. Raíz de yuca con cuero de sapo.

En contraste, las raíces de las plantas sanas se presentan bien desarrolladas y con su cáscara delgada y flexible. Los síntomas de la enfermedad pueden manifestarse en todo el sistema radical o solamente en algunas raíces (afectando toda la raíz) o parte de ella (Álvarez *et al.* 2009, 2010).

Reconocemos la enfermedad al observar las hendiduras en forma de labios, también a través de herramientas biotecnológicas como la reacción en cadena de la polimerasa cuantitativa en tiempo real (qPCR), que es un análisis molecular para el reconocimiento de la enfermedad, y otros métodos que han sido probados, como la termoterapia para limpieza de material de campo (cuadro 1).

Esta enfermedad, que ha causado serios daños en la región Huetar Norte, se caracteriza por el estrangulamiento de la base del tallo, que impide la translocación de los asimilados fabricados en las hojas hacia las raíces. Esto impide el desarrollo de las raíces de almacenamiento, por lo que toman una apariencia corchosa y áspera; de ahí el nombre de “cuero de sapo”.

Cuadro 1. Síntomas generales: raíz de yuca sana, comparada con la raíz de yuca con la enfermedad del cuero de sapo.

Raíz sana	Raíz con cuero de sapo	
Cáscara superficial, delgada y fácil de despegar.	Cáscara superficial ligeramente gruesa en grados iniciales de la enfermedad y muy gruesa y corchosa en estado avanzado de la enfermedad.	
La cáscara en la parte inferior se observa brillante.	La cáscara en la parte inferior se observa opaca.	
La textura no muestra cambios.	En estados iniciales, se observan labios engrosados en forma leve; en grado avanzado, estos labios están bien formados y forman una red en toda la raíz.	
El grosor y la longitud de la raíz son normales al momento de la cosecha.	El grosor y la longitud de las raíces con cuero de sapo son ligeramente inferiores en estado intermedio, mientras en estado avanzado, las raíces no engruesan y parecen ramas delgadas.	
	En el caso de la variedad Valencia, los tallos lucen engrosados y vigorosos, de color rosado tenue, brillante y hacia la base los tallos lucen ligeramente agrietados.	

Manejo y control: Se debe utilizar semilla sana certificada; en caso de duda, consultar a un técnico y/o llevarla a un laboratorio reconocido para diagnóstico de la enfermedad. Al momento de la cosecha, antes de despuntar, asegurarse bien de que las raíces no tengan síntomas visibles de cuero de sapo; en caso afirmativo, eliminar la planta para evitar su propagación, combatir las plagas insectiles (mosca blanca y hemípteros (chupadores)).

Ante la incidencia creciente de la enfermedad, se recomienda que el productor compre semilla limpia y haga su vivero para la multiplicación en terreno “aislado”; es decir, donde no se haya presentado cuero de sapo.

Plagas

Jobotos o gallina ciega (Phyllophaga sp.)

Son larvas de color blanco y cabeza café, tienen tres pares de patas. Se encuentran en el suelo o en la superficie de la materia orgánica en descomposición, en posición de “C”. Se alimentan de las raíces de las plantas y destruyen la corteza de las estacas de yuca sembradas. El ataque a las plantas durante los primeros tres meses causa marchitez de las hojas, que pueden llegar a morir repentinamente. Estos insectos tienen muchas plantas hospederas, como el maíz, el arroz, los pastos, la papa y otras.

Control biológico: Se pueden utilizar varios parasitoides, hongos entomopatógenos como *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana*.

Control químico: Se utiliza en lugares donde se haya reportado problema con esta plaga, lo más eficaz es realizar aplicaciones al suelo.

Lagocheirus obsoletus

Los adultos de este insecto depositan los huevos debajo de la corteza de los tallos y las ramas de las plantas, entre 1,0 y 1,5 mm de profundidad y eclosionan entre los 5 y 6 días. Las larvas tardan dos meses en desarrollarse y se encuentran en la base de la planta (Bellotti *et al.* 2011). El ataque severo de estos insectos puede llegar a causar la muerte del hospedero, debido a que las larvas hacen galerías en el tronco a nivel subcortical que interrumpe el flujo de nutrientes (figuras 26 y 27) (Mendoza y Parada 2002).



Figura 26. Adulto y larva de *Lagocheirus obsoletus*.



Figura 27. Daño causado por *Lagocheirus obsoletus* en el tallo de yuca.

Gusano cachudo (Erinnyis ello)

Esta especie tiene una amplia adaptación climática y rango de hospederos. Las larvas de este lepidóptero pueden ser de color amarillo, verde o negro; se alimentan de las hojas y los tallos y pueden defoliar la planta entera (figura 28). Los ataques repetidos de esta plaga causan pérdidas importantes en el rendimiento. Pupan en el suelo. Los adultos son de hábitos nocturnos. Los plaguicidas son efectivos si se tratan durante los primeros tres estadios de la larva, luego son difíciles de controlar. Para dar una respuesta positiva de los controladores biológicos, es importante monitorear las poblaciones del gusano, para detectarlo en los primeros estadios.

Control biológico: Se pueden utilizar parasitoides como *Trichogramma* sp., braconidos como *Cotesia americana*, depredadores como *Chrysopa* sp., chinches como *Pidius* sp., algunas especies de arañas, microorganismos como *Bacillus thuringiensis*, baculovirus y hongos entomopatógenos como *B. bassiana* y *M. anisopliae* (hay que hacer estudios para determinar las cepas adecuadas para esta plaga, faltan estudios en Costa Rica). También se pueden realizar labores de deshierba o mover el terreno, ya que los estados inmaduros de este insecto mueren al exponerse a la radiación solar.



Figura 28. Gusano cachudo (*Erinnyis ello*).

Hormigas cortadoras de hojas

Las especies de hormigas que se reportan son *Atta* sp. y *Acromyrmex* sp., una alta población de hormigas produce una defoliación de las plantas. Ellas hacen cortes semicirculares a las hojas y pueden cortar las yemas (figura 29).

Control biológico: El manejo de las hormigas se puede realizar mediante el uso de hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* y *Trichoderma* spp. (hongo antagonista), que actúa sobre el hongo que cultivan las hormigas. La dosis a utilizar para las opciones anteriores es de 250 g por bomba de 16 l y se asperjan en la boca de los hormigueros y sobre las hormigas que se encuentran en forrajeo. Los hongos anteriores también se pueden utilizar en forma de cebos, preparados con 50 g de hongo en arroz + 1 kg de puntilla de arroz + 50 ml de licuado de naranja (una naranja en 200 ml de agua), utilizado como atrayente.

Control químico: Se pueden usar cebos preparados a base de borato de sodio al 4 % (40 g de borato de sodio + 1 kg de puntilla de arroz + 50 ml de solución de jugo de naranja), los que se colocan en los caminos y alrededor de las bocas de los hormigueros. Otros productos que se

pueden utilizar son el octaborato de sodio y la sulfluramida. Los cebos se utilizan en dosis de 500 g por 25 m².

Control natural: Extractos vegetales de higuera y chile picante.



Figura 29. Defoliación causada por hormigas.

Trips

Los trips son insectos muy pequeños, de color amarillo, verde claro o dorado, de aproximadamente 1,5 mm de longitud que atacan los brotes y las hojas tiernas. Cuando el daño es muy severo, los puntos de crecimiento mueren y se estimula el crecimiento de nuevos retoños laterales, lo que resulta en una apariencia de super brotamiento. El ataque de esta plaga es más fuerte durante los periodos secos, y a veces puede ser confundida con la enfermedad conocida como sarna de la yuca, debido a las deformidades que exhiben las hojas.

En Costa Rica se han identificado los siguientes trips: *Corinotrips stenoptera*, *Frankliniella* sp. *Frankliniella cephalica* (Thysanoptera: Thripidae) y *Trichinothrips strasseni*: Thysanoptera: Phlaeothripidae (Retana y Soto 2002, Retana 2013²) (figuras 30, 31, 32 y 33).

2 Retana, A. 2013. Identificación de trips en yuca en la Región Norte del país (entrevista) San José, Costa Rica, UCR.



Figura 30. Adulto de *Corynothrips stenopterus*. Figura 31. Ninfa de *Frankliniella* sp.



Figura 32. Ninfa de *Frankliniella cephalica*. Figura 33. Adulto de *Frankliniella melanommata*.

Control cultural: Se utiliza la rotación de cultivos y mantener sus alrededores libres de hospederos y desechos del cultivo. También se debe realizar un manejo adecuado de los niveles hídricos, principalmente durante la estación seca, y manejar una adecuada nutrición de las plantas.

Control biológico: Se utilizan depredadores como chinches de la familia Lygeidae y cotorritas de la familia Coccinellidae.

Ácaros

Los principales ácaros que atacan el cultivo de la yuca son *Tetranychus cinnabarinus*, *T. urticae* (arañita roja), *Oligonychus peruvianus*, *Mononychellus tanajoa* y *M. caribbeanae*.

Los síntomas de *Mononychellus* son pequeños puntos translúcidos en la base de las hojas, las cuales van perdiendo el color verde normal y adquieren una apariencia moteada, mientras que *Tetranychus* inicia su ataque en los primordios foliares, donde deposita sus huevos, y es una amenaza para la planta huésped, porque se alimenta de los contenidos celulares de las hojas (Bellotti *et al.* 1982).

La incidencia de ácaros es más frecuente en época seca, por lo que cuando persisten estas condiciones el ataque es muy severo. El riego por aspersión y la llegada de las lluvias contribuyen a disminuir las poblaciones. El ácaro *Oligonychus peruviano* es el más común en las plantaciones de yuca en Costa Rica, se ubica en el envés de las hojas y es fácil de reconocer a nivel de campo por la presencia de una especie de telaraña de color blanquecino, donde se desarrolla en los estados inmaduros (huevos, larvas, protocrisálida, protoninfa, etc.) (Bellotti *et al.* 1982, Sandoval *et al.* 2011) (figura 34).

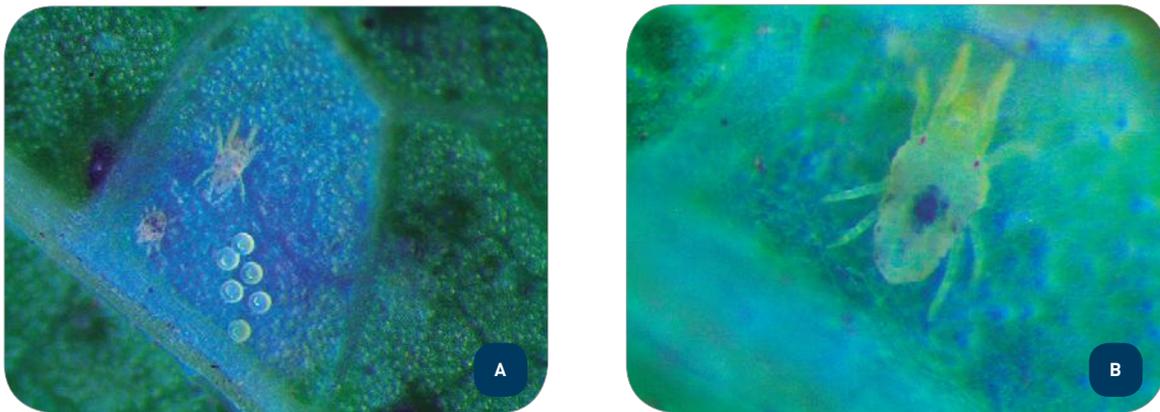


Figura 34. A: huevos inmaduros, B: adulto de *Oligonychus peruvianus*³.

Control cultural: Se recomienda la rotación de cultivos, la destrucción de plantas hospedantes, la destrucción de residuos de cosecha anterior, la inspección de las plantaciones y el uso de materiales resistentes.

3 Aguilar, H. 2014. Identificación de ácaros en el cultivo de yuca. (entrevista) San José, Costa Rica, UCR.

Control biológico: Se ha reportado una gran variedad de enemigos bióticos de los ácaros. Uno de los insectos más promisorios para el control de *Mononychellus tanajoa* es el coleóptero Staphylinidae *Oligota* spp. (Aguilar 1991). También se reporta el uso de fitoseidos y un hongo de la clase Zygomycetes.

Control químico: Como último recursos se pueden aplicar acaricidas.

Moscas blancas

Las moscas blancas son una plaga de importancia económica a nivel global, principalmente por el daño directo que ocasionan, al ser insectos chupadores de savia y vectores de los virus que atacan el cultivo. Entre los daños indirectos que produce la plaga, está el hongo Fumagina, que se desarrolla sobre las secreciones del insecto y reduce la cantidad de luz aprovechable por las plantas para la fotosíntesis.

Las especies de mosca blanca de mayor importancia en el cultivo de yuca en América Latina son *Aleurotrachelus sociales*, *Trialeurodes variabilis*, *T. vaporariorum*, *Aleurothrixus aepin* y *Bemisia tuberculata*, esta última portadora del fitoplasma que produce la enfermedad del cuero de sapo (Ángel *et al.* 1990). En Costa Rica se ha confirmado la presencia de dos especies de mosca blanca: *Trialeurodes variabilis* (figura 35) y *Aleurotrachelus sociales* (figura 36).

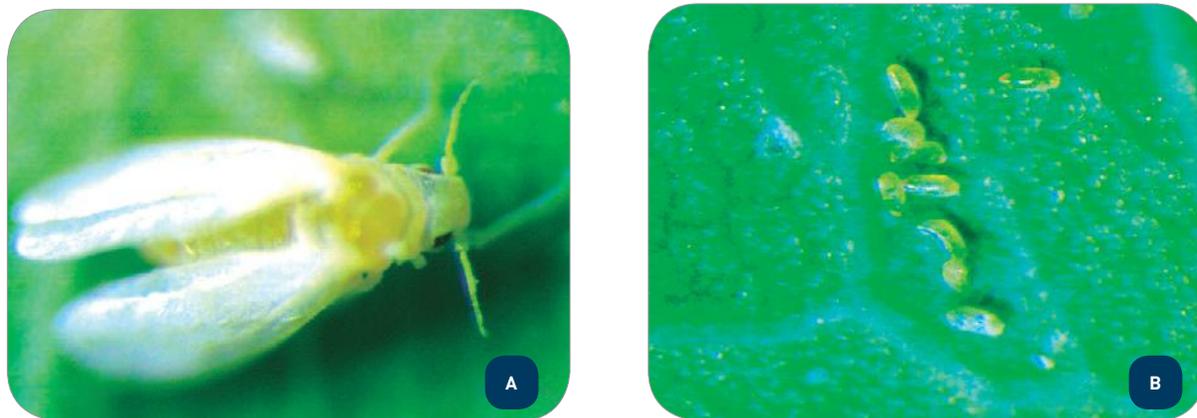


Figura 35. A: adulto; B: huevos de *Trialeurodes variabilis*.

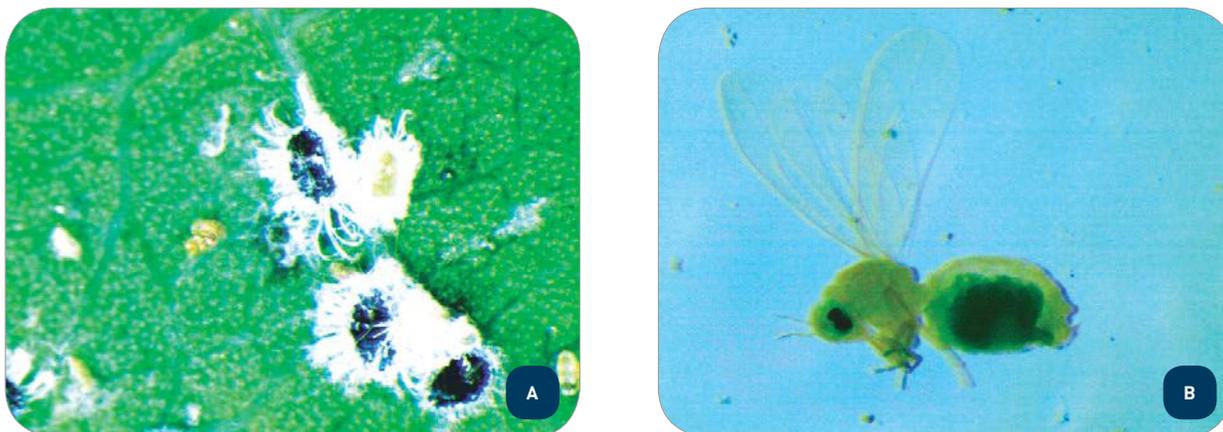


Figura 36. A: estadios ninfales; B: adulto de *Aleurotrachellus sociales*.

Manejo agronómico: El manejo de épocas de siembra tiene un papel importante en la disminución de la incidencia de la plaga. El control de malezas y la fertilización evitarán, si son oportunos, la competencia de otras plantas y darán un vigor inicial a las plantas que les permitirán soportar los ataques de este insecto. También se pueden usar trampas amarillas como control etológico. En controladores biológicos hay varios parasitoides del género *Encarsia* y hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana*, *Verticillium lecanii* y *Metarhizium anisopliae*. En cuanto a parasitoides, en condiciones de campo con infestaciones de *A. sociales* y *T. variabilis*, se ha determinado parasitismo natural por dos microhimenopteros: *Amitus aleurodinis* y *Eretmocerus aleurodiphaga*, con un parasitismo de 60 % (Bellotti *et al.* 2007).

Chinche subterráneo de la viruela (Cyrtomenus bergi)

Es un insecto polífago, de hábito subterráneo, que se alimenta de las raíces de la yuca, introduciendo el estilete a través de la epidermis y la corteza de la raíz, provocando el ingreso de patógenos del suelo, en cuya superficie se pueden observar manchas que corresponden a los sitios donde el insecto se ha alimentado, produciendo lesiones que traen por consecuencia la penetración de microorganismos que degradan los tejidos y causan la pudrición y la oxidación de raíces (figura 37). Afectan el rendimiento comercial, dado que no son aptas para la exportación. En Colombia desde 1980, se reportó a este insecto como el causante de pérdidas en el rendimiento comercial superiores al 50 % (García y Bellotti 1980).



Figura 37. Lesiones causadas por el chinche subterráneo en la pulpa de yuca.

Este insecto puede causar del 70 al 80 % de pérdida de la producción y un solo chinche puede dañar el 22 % de las raíces. Tiene una gran variedad de hospederos, tales como la yuca, el maíz (*Zea mays*), el maní (*Arachis hypogaea*), la papa (*Solanum tuberosum*), el sorgo (*Sorghum bicolor*), la cebolla (*Allium fistulosum* y *Allium cepa*), la palma africana (*Elaeis guinensis*), el café (*Coffea arabica*), la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), el frijol (*Phaseolus vulgaris*), la arveja (*Pisum sativum*), los espárragos (*Asparagus officinalis*), el culantro (*Coriandrum sativum*), los pastos y las malezas (Riis *et al.* 2005, Melo *et al.* 2006). Prefiere algunas plantas más que otras; por ejemplo, en el maíz aparece más temprano, por lo que se puede utilizar esta planta como indicadora de la presencia del chinche o como cultivo trampa. El control químico de esta plaga no es muy eficiente, debido a sus hábitos de adaptación al suelo. El uso de control biológico es una alternativa: el uso de nematodos, *Steinernema carpocapsae* y *Heterorhabditis bacteriophora* y del hongo *Metarhizium anisopliae* ha dado buenos resultados (Ospina y Ceballos 2002, Melo *et al.* 2006).



Figura 38. Huevo, ninfa y adulto de chinche subterráneo.

Las poblaciones de *C. bergi* están presentes en el suelo durante todo el ciclo del cultivo y el daño en las raíces empieza a verse en el primer mes de cultivo; cualquier tipo de control debe hacerse en los primeros tres meses de la siembra.

Este chinche prefiere los suelos húmedos. Permanece en ellos cuando el contenido de humedad es mayor que el 31 % y migra cuando es menor que el 22 % (Ospina y Ceballos 2002).

Tefrítidos

La presencia de los tefrítidos también afecta al cultivo. Existen diferentes especies de *Anastrepha* (figura 39), cuyas larvas hacen túneles ascendentes o descendentes en los tallos de las plantas, formando galerías de color marrón en el área de la médula. Esta acción causa la pudrición del tallo y la sobrebrotación cuando el insecto daña el meristemo apical de la planta (Bellotti *et al.* 1983) (figura 40).

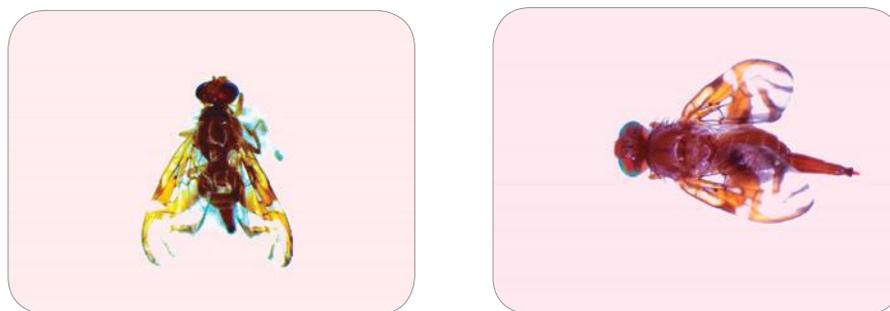


Figura 39. Adultos de *Anastrepha* sp.



Figura 40. Sobrebrotación en la planta de yuca causada por *Anastrepha* sp.

Agalla de la hoja (Latrophobia brasilensis)

Esta plaga pertenece a la familia Cecidomyiidae. Su principal daño es la malformación de las hojas de yuca y produce agallas, lo que disminuye la capacidad fotosintética de la planta (figuras 41,42, 43 y 44) (Rivera 2011).

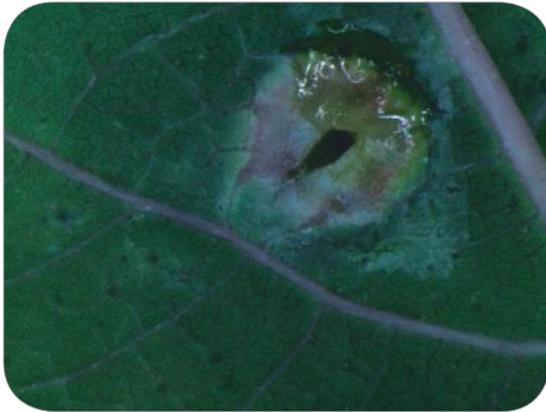


Figura 41. Agalla de *L. brasilensis*. Figura 42. Larvas y adulto de *L. brasilensis*.



Figura 43. Agallas en la hoja de yuca. Figura 44. Estado inmaduro de *L. brasilensis*.

Para el control químico de plagas y enfermedades se pueden utilizar los productos que estén autorizados por el Servicio Fitosanitario del Estado del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica para el cultivo de la yuca. Para más información, se recomienda consultar la dirección <https://www.sfe.go.cr>.

Taltuza (*Geomydae sp.*)

La taltuza es una plaga importante en el cultivo de la yuca. Este animal construye túneles en las plantaciones y se come las raíces. En las primeras etapas del cultivo, la planta desaparece literalmente de la superficie y es introducida en los túneles. Cuando hay presencia de raíces tuberosas, no es perceptible el daño en la planta; sin embargo, si se arranca la planta, se observan las raíces dañadas.

Para su control existen básicamente dos tipos de trampas: las trampas metálicas conocidas como atrapa patas y la trampa de alambre (Monge 1999). Esta última es la más utilizada en la región Huetar Caribe de Costa Rica. Luego de localizar los túneles por los que pasa la taltuza y limpiar cuidadosamente (sin manipuleo directo con las manos), en el túnel se coloca una estaca, la cual a su vez lleva atado un aro de alambre; ambos implementos van atados a una varilla flexible, de tal manera que cuando la taltuza troza la estaca, se acciona el aro de alambre y prensa a la taltuza contra la pared de la tierra (figura 45).



Figura 45. A: túnel; B: trampa de alambre; C: bosquejo de la trampa de alambre⁴.

4 Elaborado por la estudiante Gloriana Aguilar Brenes. Colegio Científico del CATIE, Turrialba, Costa Rica.

CAPÍTULO III

COSECHA Y POSCOSECHA

3.1. COSECHA

El rango óptimo para cosechar varía según el uso final del producto. Es recomendable realizar la cosecha cuando la raíz presenta la edad óptima según la variedad, que para Valencia se estima en 10 meses y para Señorita en 8. Si se cosecha posteriormente a estos periodos, se obtienen raíces más duras, que afectan la calidad culinaria y requieren un mayor tiempo de cocción.

En el caso de la yuca parafinada, se recomienda realizar un descope (corte de hojas) al menos ocho días antes de la cosecha. Este consiste en eliminar el follaje de la planta, dejando solamente el tallo, con el propósito de favorecer la suberización (engrosamiento de las cáscaras) de la yuca y evitar rajaduras en el momento de la cosecha (figura 46). La raíz se debe arrancar pegada al tallo y al hacerlo se debe observar si hay presencia de cuero de sapo; en caso positivo, se debe descartar este tallo para semilla y seguir las recomendaciones anotadas para esta enfermedad.



Figura 46. Descopado de las plantas de yuca para la cosecha.

La cosecha se realiza halando manualmente las varillas. Luego se separa la raíz del tallo con la ayuda de una tijera o cuchillo bien afilado para evitar rasgaduras de la yuca. Posteriormente se seleccionan las raíces de acuerdo con los parámetros del mercado de destino. Se depositan en una caja plástica, se protegen del sol para evitar daños o quemaduras y se trasladan a la planta empacadora para ser procesadas.

Cuando el destino de mercado es yuca congelada, la mayor parte de la yuca cosechada en campo se traslada a la planta. Se recomienda llevar el producto a la planta exportadora el mismo día de la cosecha para su inmediato procesamiento.

La planificación de la cosecha para yuca fresca parafinada para exportación e incluso para consumo en el mercado local debe coordinarse con el comprador, para proceder con la cosecha en el momento adecuado.

Operación de arranque

La cosecha de la yuca se puede realizar en forma mecánica o manual. En Costa Rica solo se realiza de manera manual, tirando fuertemente del trozo de tallo o con ayuda de una palanca (figura 47). Esta labor tiene que ser cuidadosa, ya que se pueden producir daños mecánicos como despuntes o destronques (figura 48). Una vez separado el tallo de las raíces, se procede al corte o la separación de cada unidad (figura 49).



Figura 47. Arrancador de yuca, producto de una innovación tailandesa.



Figura 48. Tipos de daños mecánicos que se producen en la cosecha de la yuca.
A: destronque, B: descascarado, C: rajadura, D: despunte.



Figura 49. Separación de las unidades de yuca utilizando una tijera especial.

3.2. MANEJO POSCOSECHA

Transporte a la empacadora

Se hace una selección inicial en el campo, para lo cual se eliminan las raíces adventicias delgadas y se hace un corte adecuado del pedúnculo. Luego se colocan en cajas plásticas para transportarlas a la planta empacadora. Las raíces se categorizan en yuca de primera y segunda calidad, con base a los parámetros definidos por el mercado de destino.

Las cajas plásticas, alargadas y poco profundas son las más adecuadas, pues evitan los despuntes (ruptura del extremo distal de las raíces) o el descascaramiento (figura 50). También hay que tener el cuidado de no sobrellenar las cajas, ya que al estibarlas una sobre otra, se producen daños a las raíces, por el peso de las cajas superiores, que producen compactación y compresión en el nivel inferior. Los daños y los golpes pueden dar inicio al deterioro vascular; además, pueden propiciar la entrada de hongos y bacterias que producen pudriciones.



Figura 50. Caja de plástico para transporte y manipuleo de la yuca.

La yuca se selecciona en el campo considerando los siguientes criterios: destronque, deformidad, acinturamiento, despunte, tamaño, daños mecánicos, daños de insectos, daños de roedores, pudriciones o enfermedades, reventaduras, descacaramiento, colores externos anormales y presencia de cuero de sapo.

Recepción

Las operaciones en la planta empacadora deben realizarse de forma oportuna y coordinada, de manera que el proceso de lavado de la yuca se realice como máximo seis horas después de la cosecha, pues en caso contrario, se inicia el deterioro fisiológico (figura 51).



Figura 51. Tipos de deterioro que se presentan en la yuca en poscosecha. A: deterioro fisiológico, B: deterioro patológico.

Lavado

Para remover la suciedad de las raíces se recomienda lavarlas en húmedo (dentro de piletas con agua limpia y potable), ya que solo de esta manera se garantiza que el producto sea desprovisto completamente de la tierra que contiene. En el caso de yuca para exportación, debe tomarse en cuenta que la mayoría de países importadores de este producto considera a la tierra como un elemento de restricción cuarentenaria. Se pueden utilizar cepillos o alguna fibra que desprenda la tierra, pero debe tenerse mucho cuidado para que no causen escoriaciones o daños en la superficie de la yuca (figura 52).



Figura 52. Lavado de la yuca utilizando agua potable y cepillo.

Secado

El secado de la yuca consiste en la remoción del agua superficial de la raíz, que limita la proliferación de hongos. Cualquiera que sea la fuente de calor para el secado de las raíces (leña, gas, electricidad), se debe garantizar que los hornos o el equipo de secado no acumulen la humedad extraída. Si la raíz no se seca adecuadamente, la yuca puede sufrir un deterioro patológico y/o fisiológico en el proceso de parafinado. Por otra parte, diversos hongos y bacterias pueden provocar el deterioro microbiológico. Conviene evitar que el producto llegue deteriorado a los mercados internacionales, pues esto afecta grandemente la imagen del producto (figura 53).



Figura 53. Secado de la yuca. A: secado rústico al sol, B: secado en horno.

Parafinado

El parafinado de la yuca se realiza con el propósito de establecer una barrera física entre la raíz y el medio ambiente, para controlar o reducir la absorción de oxígeno y de esta manera evitar la oxidación interna vascular, que se presenta con coloraciones oscuras en la pulpa de la raíz (figura 54).

Si la yuca ha permanecido más de diez horas después de ser cosechada sin haber sido parafinada, debe ser muestreada para verificar la condición de su calidad y que no presente deterioro fisiológico vascular prematuro. Esto adquiere relevancia si la cosecha se ha realizado en periodos de alta pluviosidad, en los cuales la humedad interna y externa del producto es muy alta. El muestreo consiste en cortar las puntas (parte distal) de la raíz y ver si hay coloraciones oscuras o puntos de color negro.

Según estudios realizados por el INTA y la UCR, la temperatura de la parafina debe estar alrededor de 150 °C, la cual brinda un acabado trasparente adecuado. Temperaturas inferiores, por ejemplo de 120 °C a 130 °C, consumen cerca de 20 % más de parafina. Temperaturas inferiores a 120 °C dan una apariencia blancuzca no adecuada para una calidad de exportación. Por otro lado, las temperaturas mayores a 150 °C favorecen la sublimación (paso a estado

gaseoso) de ciertos componentes de la parafina, los cuales al ser respirados se solidifican en el organismo y pueden afectar la salud de los operarios, y requieren el uso de una mayor cantidad de parafina (Fonseca y Saborío 2001).



Figura 54. Parafinado de la yuca. A: con un equipo sencillo manual, B: con un equipo mecánico llamado “carrusel”.

El parafinado debe cubrir completamente la superficie de la raíz, ya que en los espacios que no sean cubiertos puede infiltrarse oxígeno que activa la enzima polifenoloxidasas y produce el deterioro vascular. Igualmente, las raíces que presentan heridas, rajaduras o golpes y que son parafinadas se deterioran posteriormente, por efecto de patógenos que han entrado en su interior.

Se han realizado investigaciones sobre el uso de productos que sustituyan la parafina, pero a la fecha no se han logrado buenos resultados con productos alternativos.

Características de calidad de la yuca fresca parafinada para exportación

- Diámetro mínimo de 4 cm.
- Diámetro máximo de 10 cm.
- Longitud mínima de 25 cm.
- Longitud máxima de 50 cm.
- Porcentaje máximo de peladura de la epidermis: 10 %.
- Pedúnculo de 2,5 cm de longitud.
- Relativamente recta.
- Ausencia de quebraduras.
- Sin daños mecánicos causados por insectos o roedores.
- Libre de manchas u hongos.

Empaque

El empaque de la yuca se efectúa una vez parafinada. Se empaca en cajas de cartón corrugado de 20 kg, cuyas dimensiones son 22 cm de altura, 39 cm de anchura y 49 cm de longitud.

Condiciones de almacenamiento y transporte

Para el almacenamiento y el transporte de yuca fresca parafinada, la temperatura óptima es de 0-5 °C (32-41 °F) y la humedad relativa de 85 %. Bajo estas condiciones la vida en poscosecha de la yuca es de uno a dos meses.

CAPÍTULO IV

LA AGROINDUSTRIA Y EL VALOR AGREGADO DE LA YUCA

El cultivo de yuca en Costa Rica en picos de cosecha tiende a generar elevadas pérdidas económicas. Debido a esta situación, surge la necesidad de buscar alternativas que fortalezcan el desarrollo de nuevas fuentes de valor agregado, que permitan conservar las propiedades nutricionales de esta raíz. Lo anterior no omite la posibilidad de diversificar su aprovechamiento, no solo mediante su comercialización en fresco (generalmente parafinada), sino también en otras presentaciones, tales como la que se pela, se trocea o se mantiene entera, se empaca y congela para incrementar su vida útil.

También está la opción de transformar la raíz de yuca en harina, presenta un alto potencial de uso, ya que puede convertirse en una harina de alta calidad y puede utilizarse como sustituto parcial no solo de la harina de trigo, sino también de harinas de otros cereales. Por consiguiente, puede utilizarse para elaborar alimentos como panes, pastas, galletas, mezclas para tortas y “snacks” entre otras opciones. Los productos agroindustriales procedentes de la harina de yuca permiten incrementar su diversificación, a la vez que ofrecen a las personas que sufren de celiaquía (intolerantes al trigo) la opción de consumir productos inocuos y de calidad para su salud. Además, fortalece la buena salud y la nutrición del consumidor al contar con un alto contenido de fibra (Alvarado y Cornejo 2009).

Tradicionalmente, la agricultura y la industria de alimentos han sido consideradas como dos sectores separados, tanto por sus características como por su función en el crecimiento económico (FAO 2009). Sin embargo, por el impacto que ha tenido la globalización en estos sectores, se ha reconsiderado y reevaluado la función de la agricultura en el proceso del desarrollo, desde el punto de vista de su contribución a la industrialización y su importancia para un desarrollo armónico y una estabilidad política y económica. Asimismo, “la misma agricultura ha llegado a ser una forma de industria, a medida que la tecnología, la comercialización y las preferencias de los consumidores han evolucionado, según pautas que se ajustan más al perfil de los sectores industriales comparables” (FAO 2009), a menudo con una notable complejidad y riqueza en cuanto a su variedad y ámbito.

Los productos agrícolas están determinados por tecnologías de una complejidad creciente e incorporan los resultados de importantes esfuerzos de investigación y desarrollo. De igual manera, responden en medida creciente a las preferencias individuales y colectivas de los consumidores relativas a nutrición, salud y medio ambiente (FAO 2013).

El valor agregado de los productos perecederos agrícolas como es el caso de la yuca, que es una raíz que cuenta con algunas variedades que tienen potencial para la agroindustria, se ha convertido en una forma importante de reducir las pérdidas poscosecha de estos, aunado a una opción viable para incrementar las opciones de empleo de los beneficiarios involucrados en este proceso. La agroindustria se ha ido convirtiendo, a través del tiempo, en una opción viable que ofrece la posibilidad de cerrar la brecha entre la “agricultura campesina” y la “empresa agroindustrial. Además, esta puede considerarse una “agricultura ampliada” y es por tal motivo que la agroindustria rural permite aumentar y retener el valor agregado de la producción de las economías campesinas. Por lo tanto, se puede afirmar que la agroindustria ofrece la visión y la necesidad de articular la producción con cadenas agroindustriales (Segreda 2013).

La agroindustria está en crecimiento, por lo que su fortalecimiento puede ser considerado una estrategia efectiva para el desarrollo de un país en esta época de crisis. Las micro, pequeñas y medianas empresas agroindustriales (MIPyMEs) generan empleo y exportaciones; no migran con la misma facilidad que las empresas grandes y representan el 97,85 % de las industrias del sector (Brenes 2008). La agroindustria bien orientada ayuda a aumentar el empleo y el valor agregado de diferentes materiales agroindustriales. Existe un mayor desempeño de las empresas que dependen de las MIPyMEs, lo que se considera un factor significativo (UNED 2008). En la mayoría de los casos, los pequeños productores son “asfixiados” por los intermediarios, quienes la mayoría de las veces les pagan muy mal los excedentes que les quedan de sus producciones y se favorecen económicamente, en detrimento de los primeros.

El fortalecimiento del sector agroindustrial del país favorece el crecimiento del sector agropecuario mediante la agregación de valor a los productos. Costa Rica es un país netamente agrícola, por lo que es importante agregarles valor a los diferentes productos perecederos agrícolas, así como fortalecer las MIPyMEs.

La vida útil de la raíz de yuca sin parafinar es breve (aproximadamente dos días); por otro lado, cerca del 40 % de la producción no cumple con las especificaciones para ser consumido en fresco, lo que genera la posibilidad agregarle valor al producto. El procesamiento de este tipo de materia prima está sujeto a que esta cumpla con las características requeridas para la elaboración de diferentes productos agroindustriales ya mencionados anteriormente.

En el contexto vigente de cara a la apertura de los mercados, es imprescindible disponer de nuevas opciones productivas no tradicionales que registren ventajas comparativas y competitivas. Lo que se pretende lograr con esto es profundizar en cada campo de acción en función de las diferentes opciones de valor agregado que se le pueden dar a esta raíz, aunadas a su comercialización en fresco.

Es evidente la necesidad de brindar capacitación en este campo, sin obviar la guía y la realimentación que se deben dar en lo referente al manejo agronómico y de poscosecha de la yuca en el campo, eventualmente antes de ser comercializada en fresco o procesada.

4.1. IMPORTANCIA DEL VALOR AGREGADO

El valor agregado a productos agrícolas es de gran importancia, porque en la actualidad los consumidores demandan productos inocuos y de buena calidad, que satisfagan sus necesidades, en un mercado que cada vez es más exigente y competitivo. Además, evita el efecto de las fluctuaciones en los precios de productos agrícolas primarios, ya que permite aprovechar materia prima que no cumple con las especificaciones, tales como el peso y/o el tamaño requerido para llevar a cabo algún proceso productivo o como parte de los requerimientos establecidos para su comercialización en fresco. Por ejemplo, cuando se exporta en fresco un producto de este tipo, cada comprador va a imponer sus regulaciones de acuerdo con los gustos y las preferencias de los compradores y/o consumidores potenciales. Estas regulaciones deben cumplirse estrictamente, lo que en la mayoría de ocasiones deja como remanente materia prima que se encuentra en buen estado y que puede ser aprovechada para la agroindustria por medio de su transformación, diversificando su uso y generando una actividad productiva, más competitiva e innovadora.

4.2. CARACTERIZACIÓN DE MATERIA PRIMA

Con el fin de evaluar diferentes materiales y las variedades seleccionadas para poder determinar cuál o cuáles variedades se ajustan a las condiciones de proceso requeridas para la agroindustria, se realizaron pruebas preliminares a nivel piloto en las que se tomaron como referencia los análisis proximales (° Brix, pH, % de humedad), tal y como se observa en el cuadro 2.

Cuadro 2. Análisis proximal para diferentes variedades de yuca.

Variedad	Brix	pH	Humedad (%)
Yuca amarilla	6,0	5,83	67,2
Yuca Valencia	6,2	7,76	65,6
Yuca Los Lirios	7,0	5,78	66,6
Yuca blanca	6,1	6,02	59,2

Esta caracterización se tomó como referencia para estandarizar los procesos productivos posteriores o, en su defecto, para descartar los materiales para industrialización. Como parte de las actividades que se realizaron durante estas pruebas preliminares, se consideró el rendimiento de la producción de cada variedad de harina de yuca obtenida, con la finalidad de poder valorar su rentabilidad (cuadro 3).

Cuadro 3. Rendimientos porcentuales generados por diferentes variedades de yuca transformadas en harina.

Variedad de yuca	Rendimiento (%)
Valencia	41,24
Amarilla	40,23
Baguette	39,55
Señorita	39,23
Los Lirios	38,44

Como se puede observar en el cuadro anterior, los rendimientos de producción son muy bajos al transformarse la yuca fresca en harina. Este resultado hace que el proceso sea costoso, a pesar de su sencillez, debido a la cantidad de agua que se le debe eliminar al material al que se le da el valor agregado.

4.3. PRODUCTOS ELABORADOS A PARTIR DE YUCA

En el mercado nacional e internacional, existen diferentes opciones mediante las cuales se han venido aprovechando las calidades nutraceuticas (nutricionales y farmacéuticas) de la yuca, tales como la yuca pelada troceada y congelada (vida útil más extensa) y la yuca troceada y empacada al vacío, utilizando la técnica del mínimo proceso, que solo requiere refrigeración (vida útil más corta: 10-15 días a 5 °C). Otra opción de valor agregado es la elaboración de harina (figura 55).

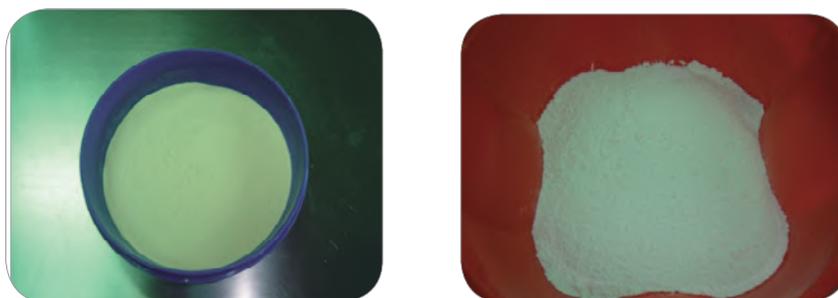


Figura 55. Harina de yuca blanca de la variedad Valencia.

El contenido de agua de la harina de yuca es bajo, al ser un producto deshidratado, lo que la hace más estable, siempre y cuando sea empacada con un material con una barrera que evite la absorción de humedad del ambiente, ya que es un producto higroscópico. Conviene almacenar este tipo de alimentos en un lugar seco y fresco, con el fin de no afectar su estabilidad y, por ende, su vida útil (figuras 56 y 57).



Figura 56. Bocadillos a partir de harina de yuca como ingrediente principal.



Figura 57. Bocadillos a partir de harina de yuca (ingrediente principal) mezclada con harina de zanahoria.

Todos los factores que se han mencionado como parte del proceso productivo ofrecen la oportunidad de que los costos de materia prima disminuyan y hagan más rentable la actividad, principalmente por ser este un producto innovador y fácil de reproducir por una micro, pequeña y/o mediana empresa agroindustrial.

CAPÍTULO V

USO DE LA YUCA EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL

La alimentación animal en la industria pecuaria de Costa Rica depende de concentrados elaborados a base de granos. Los cerdos, las aves y en menor grado la lechería especializada sustentan sus dietas balanceadas principalmente en maíz amarillo y soya, ingredientes importados. El maíz amarillo utilizado en la producción animal procede principalmente de los Estados Unidos. Según el registro histórico de las importaciones realizadas de 2008 a 2015, en este período año a año se compran más de 500 000 toneladas, con picos altos en los bienes 2010-2011 y 2014-2015, con la compra de más de 700 000 toneladas en cada uno (SEPSA 2016).

La yuca ha demostrado ser un excelente sustituto del maíz amarillo en la dieta animal, al ser un cultivo con una alta producción de raíces ricas en almidón y de follaje con un alto porcentaje de proteína. La yuca y el maíz son dos productos similares, están formados casi totalmente por almidones y son de fácil digestión. Por lo tanto, la yuca es apropiada para alimentar animales en desarrollo y en engorde, por lo que el maíz puede ser sustituido por yuca para la alimentación de cerdos, ganado de leche, ganado de engorde y aves.

Las características de esta planta permiten utilizar todas sus partes: el tallo para su propagación vegetativa, las hojas para producir harinas proteicas y las raíces para el consumo en fresco, la agroindustria y la alimentación animal. Además de ser un cultivo con una altísima tolerancia al estrés biótico (plagas y enfermedades), es de fácil adaptación a las características de la pequeña producción.

5.1. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA ALIMENTACIÓN ANIMAL

La alimentación para la producción animal en Costa Rica depende de materias primas importadas. Esa dependencia va desde el 30 % para la lechería especializada (González 2010) hasta más del 80 % para la alimentación de cerdos (Campabadal 2009), aves ponedoras y pollos de engorde.

Para dar una idea de las dimensiones de la dependencia de las actividades pecuarias en el maíz amarillo, según SEPSA (2015) durante el periodo 2011-2014 los valores de las importaciones de este cereal fueron de USD 721 millones (un promedio anual de USD 180 millones), superiores a los de las importaciones de soya, que fueron por un valor de USD 580 millones

(un promedio anual de USD 145 millones). Sin duda, ello representa una fuerte erogación de divisas para atender la demanda por productos animales. Esos montos significan 2,5 millones de toneladas de maíz (un promedio anual de 633 000 toneladas) y 1,0 millón de toneladas de soya (un promedio anual de 252 000 toneladas).

Los datos anteriores muestran que en Costa Rica el maíz desempeña un importante papel como ingrediente en la dieta de los animales y que para importarlo se invierte un monto considerable de divisas. Conviene, por tanto, buscar otras opciones en el país para la alimentación de animales y ver de qué fuentes de nutrientes energéticos se dispone. Se debe comparar el valor nutricional de esas fuentes con el del maíz, así como estudiar y evaluar la viabilidad biológica y económica de sustituir parcial o totalmente el maíz amarillo con ese ingrediente nacional, con el fin de reducir la vulnerabilidad del sector productivo dependiente en un 100 % de ese ingrediente importado.

5.2. POTENCIAL DE LA YUCA COMO ALIMENTO PARA ANIMALES

Costa Rica cuenta con varios cultivos ricos en contenido de almidones, tales como el banano, el pejibaye, raíces como la yuca y tubérculos como la papa y el camote. De ellos, el banano y la yuca se usan desde hace mucho tiempo en la alimentación animal, principalmente en forma fresca. En este sentido, ante el contexto de los biocombustibles que compiten por materias primas (Acuña *et al.* 2010) que afectan otras actividades productivas, como es el caso del maíz y la ganadería, se propone desarrollar una opción de sustitución parcial o total del maíz, que permita disminuir los costos de alimentación, mantener su aporte nutricional y reducir la vulnerabilidad de los sistemas de producción pecuaria de Costa Rica por su dependencia en materias primas importadas (Morales 2016).

La yuca es la opción más viable, dado que durante muchos años ha existido un mercado internacional de ese producto para la alimentación animal, especialmente en la Unión Europea y más recientemente en países tropicales en desarrollo. En Indonesia, Tailandia y otros países del Sudeste asiático, la yuca se comercializa en forma de trozos secos, secados básicamente con energía solar. Esta materia prima es transformada en los países de destino en harinas y *pellets*. Ambas presentaciones se utilizan mezcladas en los concentrados para animales (Acuña *et al.* 2010). El uso de la yuca en dichos países ha competido con otras fuentes de carbohidratos para la alimentación animal, especialmente maíz y sorgo. Una de las ventajas de la yuca es que es altamente productiva, aún en condiciones marginales de clima y fertilidad del suelo. La raíz de yuca contiene de un 35 a un 40 % de materia seca (Morales 2016), de la cual un 85 % consiste en almidón altamente digestible. Su principal desventaja es su bajo contenido de proteína, pero esto se resuelve mediante otros ingredientes altos en proteína, como la soya, o también utilizando el follaje de la misma yuca que tiene contenidos de proteína

tan altos como el 25 % (Giraldo *et al.* 2005). De la experiencia europea en el uso de la yuca, se sabe que puede utilizarse en niveles del 40 % y más en sustitución del maíz, en la dieta de rumiantes (Brigstocke *et al.* 1981); similarmente en aves (Tiemoko 1988) y cerdos (Morales y Batista 2016) y en este último caso con sustituciones de hasta el 100 % con resultados biológicos y económicos favorables (Ayerbe 2002, Clayuca Net 2004). Además, la tradición en la producción de yuca en el país, así como el desarrollo de las llamadas yucas amargas de alta producción para la alimentación animal, las cuales no compiten con el consumo humano, hacen aún más viable esta opción (Morales 2016).

El follaje de la yuca, además de su alto contenido de proteína, contiene otros nutrientes necesarios para la producción animal (Gil y Buitrago s. f.). Su uso sería un medio para mejorar el bajo contenido proteínico de la harina de raíz de yuca, esperándose un menor costo en comparación con una fuente tradicional de proteína, tal como la soya. Es probable que los aumentos de los precios internacionales del maíz que se dan cíclicamente en el tiempo favorezcan el uso de la yuca. Entonces dos factores que también favorecerían el uso futuro de la yuca en la alimentación animal en Costa Rica son la posibilidad de un desabasto internacional del maíz y la posibilidad de incorporar el follaje de la misma yuca en las dietas con harina o *pellets* de yuca.

La FAO (2016) resalta la importancia del uso de fuentes locales de alimentación como elemento clave en la sostenibilidad de las dietas para animales, precisamente por su relación con asuntos ambientales, el reciclaje de nutrientes y la reducción de las emisiones de gases con efecto invernadero derivadas del transporte. Además, el uso de esas fuentes tiene grandes impactos sociales, porque promueve las economías locales y genera empleo.

5.3. SIGNIFICADO NUTRICIONAL DE LA YUCA EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL

La yuca es una planta tuberosa utilizada tanto para el consumo humano como para la alimentación animal. El almidón es el componente de reserva de la mayoría de las plantas, incluida la yuca, y la fuente de calorías más importante consumida por el humano y, a partir de su domesticación, por los animales. La constitución del almidón de la yuca es muy similar al del almidón del maíz amarillo (Ospina y Ceballos 2002). Un análisis rápido del significado del maíz en la dieta de los animales indica que es una fuente de energía rica en carbohidratos de cadena larga altamente digestible (Zinn *et al.* 2002).

En los países donde se usa la yuca en la alimentación animal, se ha demostrado su potencial desde el punto de vista biológico para sustituir el maíz para la alimentación de ganado bovino para la producción de leche y carne, de aves para la producción de carne y huevos y

de cerdos (Brigstocke *et al.* 1981, Smith 1988, Tewe y Egbunke 1988, Kanjanapruthipong *et al.* 2001). La comparación económica de la sustitución del maíz por yuca también ha sido demostrada en varios estudios (Cardoso 1968, Brigstocke *et al.* 1981, Hehn 1988); sin embargo, esto ha dependido del valor relativo de ambas materias primas y el costo de la adición del complemento proteico a las dietas con yuca, que haya disponible para equipararlas con las dietas de maíz (Sanda y Methun 1988, Tiemoko 1988, Kanto y Juttupornpog 2003, Zinn *et al.* 2002). Los cereales pueden ser sustituidos por yuca solo si la mezcla nutricionalmente equivalente de yuca y otros alimentos proteicos es más barata que el alimento preparado con cereales (FAO 2012). Por lo tanto, desde el punto de vista económico es viable sustituir maíz por yuca, dependiendo del precio relativo de las materias primas que entran en juego en las dietas. En el siguiente cuadro, se observa el contenido nutricional de la yuca en comparación con el del maíz amarillo.

Cuadro 4. Comparación del valor nutricional del maíz amarillo, la raíz de yuca fresca y la harina de yuca*.

Alimento	Contenido de nutrientes (%)				Valor nutricional			
	MS	Almidón	PC	FND	Especie animal	DMO (%)	ED	EM
Maíz amarillo	85,8	72,5	10,5	12,7	Rumiantes	88,7	3,87	3,25
					Cerdos	88,1	3,94	3,85
					Pollos			3,56
Yuca (raíz fresca)	37,6	80,8	2,6	7,8	Rumiantes	89,1	3,47	2,96
					Cerdos	92,1	3,75	3,68
					Pollos			3,63
Yuca (harina de raíz)	87,6	80,4	2,9	8,0	Rumiantes	88,8	3,39	2,91
					Cerdos	90,8	3,66	3,59
					Pollos			3,61

MS = materia seca; PC = proteína cruda; FND = fibra neutro detergente; DMO = digestibilidad de la materia orgánica; ED = energía digestible; EM = energía metabolizable (kilocalorías/kg de materia seca).

* Feedipedia (Maize grain, yellow; Cassava tubers, dehydrated; Cassava tubers, fresh; MJoules convertidos a Mcalorías - 4.1858 calorías/Joule).

Fuente: Feedipedia 2016.

En términos de energía, la relación comparativa entre la yuca fresca y el maíz amarillo indica que la yuca tiene 102 % del valor del maíz para pollos (3,63/3,56), 95,6 % para cerdos (3,68/3,85) y 91,1 % [2,96/3,25] del valor de la energía metabolizable, en el caso de los rumiantes. En lo referente a la harina de yuca, las comparaciones son del rango del 101 %; 93,2 % y 89,5 % para pollos, cerdos y rumiantes, respectivamente.

El maíz amarillo tiene un mayor contenido de proteína cruda (10,5 %) que la harina de yuca (2,9 %) y que la yuca fresca (2,6 %). La ventaja de la proteína del maíz, por lo menos para el caso de los rumiantes, es que el 30 % de ella es sobrepasante, digiriéndose a nivel del intestino delgado donde es más eficientemente utilizada por el animal. La desventaja es que el 50 % de esa proteína es tipo zeína, la cual se caracteriza por sus bajos contenidos de lisina y de triptófano (McDonald *et al.* 2002). Sin embargo, la proteína del follaje de yuca también tiene características sobrepasantes (32 % de esta proteína es sobrepasante) (Gil y Buitrago 2001), entre otros factores importantes en la nutrición del animal, lo que la hace muy atractiva para su uso en mezcla con la harina de raíz de yuca. Esto quiere decir que, de cualquier manera, sea que se utilice como fuente de energía en la dieta de los animales el maíz amarillo o la yuca, la dieta debe balancearse con otros ingredientes proteicos. También es importante considerar y comparar ambos ingredientes energéticos desde el punto de vista de la producción por hectárea y como materia prima producida en el país.

Es imposible producir en el país la cantidad de maíz que se importa para suplir las necesidades de la industria animal, por razones de productividad, tierra disponible y costos. Una industria tan dependiente de insumos importados es muy vulnerable.

Con los precios bajos actuales del maíz amarillo, parece una misión imposible reducir costos por alimentación. Para enfrentar los precios deprimidos y la baja rentabilidad de las granjas porcícolas y los problemas de competitividad que la ganadería de leche enfrentará año a año a partir del presente a consecuencia de la desgravación arancelaria iniciada en 2016, se debe recurrir a fuentes locales de alimentación, que como se mencionó anteriormente, además de promover las economías locales y el empleo, generan sostenibilidad al sistema en su todo, porque las distancias que tienen que recorrer esos alimentos para llegar al lugar de uso se acortan y la proporción de la energía metabolizable en la dieta animal con que contribuye la fuente alimenticia local se aumenta.

Para producir el maíz que importa Costa Rica actualmente, se requeriría el 63 % del área de cultivo actual del país. Además de que no contamos con esa cantidad de tierra con aptitud para la producción de maíz, difícilmente alcanzaríamos los costos de producción, tan solo refiriéndolos a las diferencias abismales en productividad entre Costa Rica (2 t/ha) y los Estados Unidos (10-14 t/ha). Considerando esas dos toneladas de maíz por hectárea factibles de cosechar en el país, se requerirían $633/2 = 315\ 000$ ha para producir el maíz amarillo que se consumió en 2015. Es decir, habría que utilizar el área que se utiliza en café, piña, banano, arroz y caña. Este es un cálculo totalmente académico e hipotético, pues no solo no tenemos esa tierra para producir maíz, sino que los precios serían prohibitivos para su uso en alimentación animal.

Por el contrario, para producir el almidón de las 633 000 toneladas de maíz importadas en 2015 ($633 \times 85,8\ \% \text{ MS} \times 72,5\ \% \text{ almidón} = 394\ 000$ toneladas), mediante la yuca (yucas amargas de alta producción 11,3 t almidón/ha, cuadro 5), se requieren aproximadamente $394\ 000/11,3$

= 35 000 ha, lo cual sí sería factible de hacerlo, máxime con la tradición existente en el país en el cultivo de esta raíz (primer exportador de yuca para consumo humano en el mundo durante un largo periodo, según CNP 2013 y Monge 2012) y hoy uno de los más importantes, con miles de hectáreas adecuadas para hacerlo; por ejemplo, en el 2006 se sembraron casi 24 000 ha en raíces tropicales (SEPSA 2009).

Comparativamente con la producción de maíz amarillo en los Estados Unidos, con las yucas amargas se superaría ligeramente la producción de energía; además, la proteína tendría que ser compensada con follaje de yuca.

Cuadro 5. Comparación nutricional para rumiantes y de producción entre el maíz amarillo y la yuca amarga.

Alimento	MS (%)	Almidón (%)	RumiantEM (Mcal/kg)	PC (%)	Producción (t/ha)	Materia seca (t/ha)	Almidón (t/ha)	EM (Mcal/ha)	PC (t/ha)
Maíz amarillo	85,8	72,5	3,25	10,5	14	12,0	8,7	39000	1,26
Yuca amarga*	35,0	80,4	2,91	2,9	40	14,0	11,3	40740	0,41

* Los valores del contenido de almidón, EM y PC, se asumen de datos de yuca dulce; el de producción, de los valores más bajos obtenidos en Costa Rica vs. los valores nutricionales del maíz amarillo y la producción en los Estados Unidos.

5.4. PROCESAMIENTO DE LA YUCA PARA LA ALIMENTACIÓN ANIMAL

De las raíces y del follaje de la yuca se obtienen muchos productos para la alimentación animal. Una forma de preservar la yuca fresca es picarla, secarla y molerla para luego incorporarla en los alimentos concentrados (García 2013). Asimismo, la yuca puede ser suministrada a los animales en forma fresca. Ambas formas de suministro guardan diferencias entre sí en cuanto a la utilización por el animal, a los costos de la materia prima y del procesamiento (ambas formas requieren más o menos procesamiento, principalmente como medio de reducir los contenidos de cianuro de la parte de la planta que se quiera utilizar), a la complejidad del suministro, a la capacidad de almacenamiento y a los alcances que una u otra forma pueda tener como impacto en la economía nacional con respecto a las dimensiones de los sistemas de producción, así como de los volúmenes y el precio del ingrediente a reemplazar (maíz amarillo).

El procesamiento de la raíz de la planta de yuca permite obtener harinas y coproductos mezclables con otros ingredientes en la producción de suplementos concentrados para la industria animal. Además, la raíz y la cáscara de la yuca se procesan juntas, dado que el animal aprovecha ambas partes, debido a que, aunque la cáscara contiene más fibra que la raíz, también contiene altos tenores de almidón aprovechable por todas las especies animales que la consumen, particularmente los rumiantes.

Procesamiento de yuca en forma de harinas para la industria animal

Dos aspectos son fundamentales en el procesamiento de la yuca para la industria animal: el secado y la molienda para la producción principalmente de harina de yuca integral (raíz y cáscara). La producción de harina integral de yuca implica cuatro subprocesos y/o equipos: el lavado, el picado, el secado y la molienda. Entre estos, el secado es clave, pues es uno de los subprocesos con mayores requerimientos de energía y fundamental en toda la cadena productiva, pues de él depende en gran medida la eficiencia y los costos en la obtención de los productos para la alimentación animal en grandes volúmenes (García 2013). Por esto recurrir al secado solar impactará positivamente en el costo final de los productos que se obtengan.

El contenido de materia seca es diferente entre variedades de yucas amargas (Morales 2016). En la siguiente figura se presentan cuatro de las variedades que presentaron más alta producción en ensayos regionales (Aguilar 2011). Según observaciones realizadas en planta de procesamiento, en el caso de la variedad amarga Los Lirios y la variedad dulce amarilla (CM2772-3), se tomaron más de 20 horas para lograr el secado de los trozos en secadora de capa fija, mientras los de la variedad CM7514-8 se lograron secar en 14 horas.



Figura 58. Variedades de yucas amargas y contenido de materia seca (MS).

Dichas observaciones coinciden con el rendimiento de producción de trozos secos en el proceso de secado (figura 59).

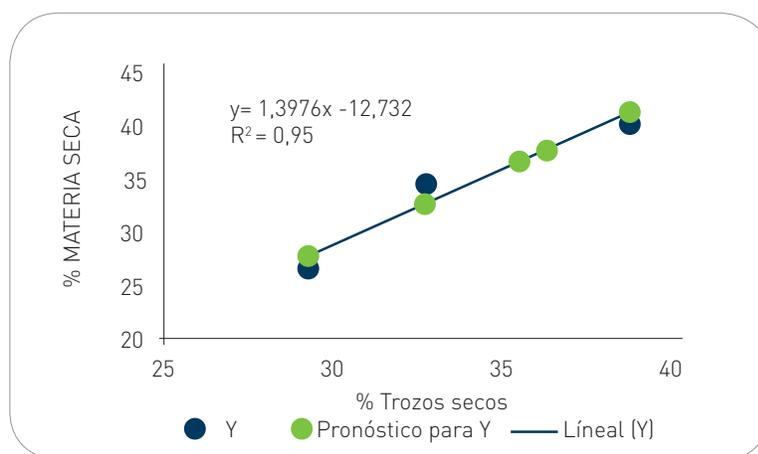


Figura 59. Correlación entre contenido de materia seca de la yuca y el rendimiento en trozos secos.

Por lo anterior, es importante conocer el contenido de materia seca de la yuca fresca al entrar a la planta procesadora, ya que el costo de secado será mayor en variedades de bajo contenido de MS (Morales 2016).

Determinación práctica del contenido de materia seca y almidón

La determinación de la materia seca y el contenido del almidón son importantes. El primero tiene repercusiones sobre la eficiencia y los costos del procesamiento de la yuca y la segunda tiene implicaciones en el valor energético de la yuca para la alimentación animal. Ambas determinaciones pueden realizarse por la vía laboratorial, más precisa, pero también con tiempo de determinación más prolongado, de aproximadamente una semana (muestreo, envío de muestra, procesamiento laboratorial y retorno de la información).

Una forma práctica para determinar estos indicadores, que se puede realizar rápidamente al recibo de la yuca en planta, es la aplicación del método gravimétrico (Toro y Cañas 1983, figura 60). A partir de la relación del peso en seco de la raíz de yuca y el peso de esa misma yuca en agua, se han generado fórmulas que permiten determinar esos contenidos en forma bastante aproximada a las determinaciones laboratoriales.

PS = kg peso seco	PA = kg peso en agua	Fórmulas (N° absolutos = constantes)
		<p>PG = peso gravimétrico</p> <p>$PG = PS / (PS - PA)$</p> <p>% MS = contenido de materia seca</p> <p>$\% MS = (PG \times 158,26) - 142,05$</p> <p>% A = contenido de almidón</p> <p>$\% A = \% MS \times 0,875$</p>
Recomendaciones		Ejemplo
<p>Tomar muestra de peso aproximado a 3 kg de yuca</p>	<p>Lámina de agua debe cubrir raíz totalmente y la canasta no debe tocar las paredes de la cubeta</p>	<p>PS = 3,190 kg / PA = 0,440 kg</p> <p>$PG = 3,190 / (3,190 - 0,440) = 1,16$</p> <p>$\% MS = (1,16 \times 158,26) - 142,05 = 41,5$</p> <p>$\% A = 41,53 \times 0,875 = 36,3$</p>
<p>Se debe calibrar el instrumento cada vez que se tome uno y otro peso, si la romana es de reloj. Si es electrónica, ello se debe realizar de tiempo en tiempo. Hay tablas que indican en forma predeterminada el contenido de MS y almidón, tomando como base el peso gravimétrico.</p>		<p>Comúnmente el contenido de MS de las diferentes variedades de yuca es de 20 % a 40 % o un poco más y el de almidón de un promedio de 35 %.</p>

Figura 60. Determinación del contenido de materia seca y de almidón en yuca mediante el método gravimétrico.

Productos que se obtienen del procesamiento de la yuca

Trozos secos de raíz de yuca para alimentación animal

Para alimentación animal, el trozo seco será el principal y primer producto semiprocesado que saldrá de la planta (figura 61). Este producto como tal puede ser utilizado directamente por pequeños productores en sus animales de granja, el cual, mediante un molido artesanal o rudimentario, puede mezclarse con otros ingredientes de la finca y ofrecerlo a sus animales. Este producto también se dispondrá para la industria de alimentos para animales, empresas que pueden llevarlo a etapas posteriores de procesamiento para mezclas con otros ingredientes en la elaboración de sus concentrados, sustituyendo parcialmente el componente de maíz amarillo importado.



Figura 61. Trozos secos de raíz de yuca.

Harina integral de yuca para alimentación animal

Otro producto importante del procesamiento de la yuca es la harina para alimentación animal. Los trozos secos pueden continuar en línea de producción, en donde mediante un molino de martillos, estos pueden ser transformados en harina (figura 62). Este producto tiene ventajas sobre los trozos secos, debido a su mayor densidad, lo que permite mejores facilidades de manipulación y ahorros en los costos de almacenaje y transporte. Este producto es para uso en alimentación animal, pues aún está conformado por raíz y cáscara. Equipos más sofisticados como una refinadora de harina puede ser utilizada, con la ventaja de que se puede separar la harina pura de raíz de la cascarilla, dependiendo de lo que demande el consumidor o para diferentes nichos de mercado.



Figura 62. Producción de harina de yuca y almacenamiento.

Harina de yuca enriquecida para alimentación animal

La harina de yuca para alimentación animal seguirá otro proceso posterior, en donde mezclada con otros ingredientes, principalmente ingredientes ricos en proteínas como puede ser la soya importada u otros ingredientes nacionales, como el mismo follaje del cultivo de la yuca, la cratylia (*Cratylia argentea*), maní forrajero (*Arachis pintoi*), morera (*Morus alba*), etc., pueda convertirse en un alimento con mayor contenido nutricional (energía, aminoácidos, etc.). Para estas mezclas se necesitará una mezcladora de alimentos, en caso de que se quiera dar aún más valor agregado desde la fase de producción primaria.

“Pellets” de harina de yuca enriquecida para alimentación animal

La harina de yuca enriquecida puede seguir un procesamiento ulterior, transformándose en “pellets” (figura 63). Este producto tiene muchas ventajas para la industria de alimentos para animales, pues además de ser un producto enriquecido, su presentación es de una gran densidad, lo que produce muy pocas pérdidas en su manipulación y ofrece más ahorro en costos de almacenamiento y transporte, comparado aún a la misma harina de yuca. Para ello se necesita la incorporación de una peletizadora, la cual ahora se consigue de diferentes tamaños y capacidades de procesamiento y a costos más asequibles que en años recientes. Incluso a una escala pequeña se puede acondicionar y adaptar una **máquina de moler carne** más secado posterior se puede obtener este producto.



Figura 63. Pellets de harina de yuca⁵.

Bloques nutricionales para rumiantes

Los bloques nutricionales son alimentos puestos a disposición principalmente de animales rumiantes en pastoreo (figura 64). Una de las características de las pasturas es su comportamiento errático, en términos de disponibilidad y contenido de nutrientes, como consecuencia de su entorno climático y de pastoreo. Por esto, el acceso a nutrientes suplementarios y complementarios, es estratégico en la alimentación, para una mejor utilización de las pasturas y comportamiento productivo de los animales. Mediante bloques nutricionales, que consisten en mezclas de ingredientes con alto valor energético y proteico, así como minerales y vitaminas, se suplen fácilmente nutrientes deficitarios al animal. Mediante adición de alguna fibra y sustancias adhesivas, esta mezcla de nutrientes puede compactarse mediante prensa hidráulica y luego secarse, dándosele la consistencia apropiada para su uso por el animal en pastoreo.

5 Fotografías del Ing. José Alberto García Agredo, CLAYUCA, Costa Rica.



Figura 64. Bloques nutricionales.

Harina de hojas de yuca para alimentos de animales

Anteriormente se mencionó la posibilidad de enriquecer productos de la raíz de yuca con el follaje de la misma planta, lo cual puede compensar en buena medida el contenido deficiente de proteína de la raíz (figura 65). Las hojas de yuca tienen un alto valor nutricional, pues contienen 22,7 % de proteína, 10,9 % de cenizas, 6,8 % de grasa y 11 % de fibra, así como 3,9 mg de hierro y 58 mg de vitamina C por cada 100 g de proteína digerida (Gil y Buitrago s. f.).



Figura 65. Follaje de yuca deshidratado y molido con diferente grado de molienda.

Este follaje se utiliza principalmente para elaborar productos en alimentación animal, en especial de rumiantes. Puede utilizarse el follaje de cualquier variedad de yuca, sean dulces o amargas, ya que en el proceso se reducen los contenidos de ácido cianhídrico de este material. Ya existen líneas de procesamiento establecidas (Giraldo *et al.* 2016), que únicamente requerirían su incorporación a la planta de procesamiento.

Ensilajes de follaje con diferentes contenidos de raíz yuca picada

El follaje, combinado con la raíz de yuca, siguiendo las prácticas recomendadas para la elaboración de ensilajes en general, resulta en un producto de gran calidad. Se pueden hacer combinaciones de ambos componentes de la planta de yuca en diferentes proporciones, por ejemplo 80:20; 70:30 y 50:50 de follaje:raíz de yuca. El ensilaje con cantidades progresivas de raíz sería un producto con mayor contenido energético o lo contrario un ensilaje más proteico, los cuales permitirían ofrecerlos a animales con diferentes demandas nutricionales. Por ejemplo, el ensilaje 50:50 sería ideal para vacas lecheras al inicio de lactación y así sucesivamente. El follaje puede ser del mismo cultivo de la yuca u otro follaje de calidad (figura 66).



Figura 66. Ensilaje de follaje y raíz de yuca.

Experiencias en el uso de la yuca en la alimentación animal en Costa Rica

En Costa Rica no hay un uso tecnificado de la yuca, en ninguna de sus posibles presentaciones y productos procesados, para la alimentación animal. Antes de la aparición de la actividad porcícola moderna en el país (razas mejoradas y alimentación a base de concentrados), en los años 70 del siglo pasado, la actividad porcícola de traspatio con razas de cerdos criollos (negro pelón) (figura 67), se utilizó mucho el sancocho de raíces y tubérculos entre los que se incluye la yuca, entre otros productos y subproductos agrícolas, agroindustriales y “desperdicios de cocina”.



Figura 67. Animales alimentados con yuca fresca.

Hoy se está utilizando, cada vez en mayores cantidades, el rechazo o subproducto de la industria de la exportación de yuca parafinada y fresca, en la alimentación de cerdos, pero particularmente en la alimentación de ganado de leche, incluida la producción de leche especializada bajo pastoreo. Es difícil precisar desde cuando está ocurriendo esto. Algunos dicen que desde hace unos 5 a 10 años, lo cual coincide con la crisis del maíz amarillo de 2007.

Uso de la cáscara de yuca

En el argot popular se ha acuñado como nombre del producto “cáscara de yuca”, pero fácilmente se puede observar que se trata de mucha cáscara, pero también de muchos trozos grandes de raíz (figura 68). Dado el contenido variable de raíz, el subproducto es de calidad igualmente variable, mayor o menor valor energético según el contenido de raíz, por su mayor valor energético comparado con la cáscara y de menor o mayor contenido de calcio y fósforo, determinado por su mayor contenido en la cáscara.



Figura 68. Cáscara de yuca para alimentación animal.

Un dato interesante es que el rechazo de la industria de la yuca parafinada, que es prácticamente yuca entera, se está suministrando a los cerdos, animales que realizan por si mismos la separación de la cáscara con parafina y utilizan la raíz sin ningún problema; mientras que la “cáscara de yuca” se les suministra principalmente a las vacas de leche. Sobra decir que tanto los cerdos como las vacas de leche consumen este subproducto ávidamente. La recomendación en el uso directo de yuca del campo para alimentar animales es que esta sea picada y oreada de un día para otro, para eliminar o reducir el contenido de ácido cianhídrico (HCN). Esta recomendación es particularmente importante en el caso de las yucas amargas, las cuales tienen contenidos altos de AC, hasta de 5 veces más que las yucas dulces. Es importante recordar que los residuos actualmente en uso son de yucas dulces y que de alguna manera están semi-procesados por la manipulación para la exportación, de aquí que esta no sea una recomendación relevante, al uso actual de a la yuca en la alimentación animal.

Suministro de cáscara de yuca al ganadero de leche

El ganadero de leche recibe del intermediario sacos con 30 a 35 kg de residuos remanentes de la exportación de yuca (figura 69), peso que depende de la proporción que contenga de pulpa, donde la mayor proporción es de trozos de puntas de raíz el cual contiene más cáscara que pulpa, en todo caso no es un producto uniforme en peso ni en composición. El ganadero saca el material inmediatamente de recibido y lo extiende sobre el piso dispuesto con este propósito cerca del lugar donde lo suministrará a las vacas, esto con la intención de que le perdure por una semana en buenas condiciones, hasta la siguiente entrega por parte del proveedor.



Figura 69. Vaca de leche consumiendo cáscara de yuca.

El suministro se hace en baldes de 5 galones que cargan de 6 a 8 kg dependiendo del contenido de raíz. Según ganaderos que utilizan el subproducto, en Palmira de Zarcero, ningún otro alimento que han probado, incluido el ensilaje de maíz, ha sustituido, fuera del concentrado, la respuesta de la vaca en producción de leche al suministro de yuca. Esto implica que en Costa Rica existe la necesidad de un producto que sustituya parcialmente los concentrados en la alimentación animal, y que el valor del sustituto debe ser más barato que el ingrediente que sustituye.

El uso de la yuca para la alimentación animal en forma de trozos, *pellets* o harina, permite tener un sustituto parcial de granos importados en la formulación de dietas para animales. Esto tiene un impacto en la economía, pero también en la seguridad alimentaria, ya que la producción animal, generadora de alimentos ricos en proteína como la leche, la carne y los huevos, no se ve en riesgo de disponibilidad y acceso para la población, como sí es el caso, cuando se depende en un 100 % de granos importados, los cuales comprenden un 80 % de la dieta de los animales de granja en este momento. Además, como cultivo de tradición en el país y adecuado a pequeñas unidades de producción permite ampliar la gama de productos finales y con valor agregado, ya que parte del procesamiento del secado se puede realizar en la finca por los productores. Finalmente es importante acentuar el hecho de que este es un cultivo de bajo uso de insumos, lo que le da un balance positivo en la mitigación del cambio climático, en términos de huella de carbono.

Posible impacto del uso tecnificado de la yuca en la alimentación animal

El sector que se beneficiará directamente será el de los productores de yuca y sus familias, tanto porque sería un nuevo mercado para la yuca, como también por el valor agregado del procesamiento previo a la industria de los alimentos para animales que se pretende dar al material. En segundo plano, pero no menos importante, se beneficiará las actividades productivas de leche y carne de bovinos, carne y huevos de aves y el sector porcícola en términos de competitividad y disponibilidad de una materia prima capaz de sustituir al maíz cuando éste presente precios altos y su desabasto en los mercados internacionales. Finalmente beneficiará a los industriales de alimentos para animales al contar con una materia prima que les dará sostenibilidad, competitividad y disponibilidad de materia prima para su negocio.

CAPÍTULO VI

COSTOS DE PRODUCCIÓN POR HECTÁREA

Labores	Unidad	Cantidad	Costo unitario en colones	Costo unitario en USD	Costo total en colones	Costo total en USD
Arada	HM	4,00	15 000,00	27,78	60 000,00	111,11
Rastreada	HM	3,00	15 000,00	27,78	45 000,00	83,33
Alomillado	HM	3,00	15 000,00	27,78	45 000,00	83,33
Transporte de semilla	kg	700,00	6,00	0,01	4200,00	7,78
Transporte de insumos	kg	1500,00	20,00	0,04	30 000,00	55,56
Transporte de la yuca a la planta	kg	13 000,00	6,00	0,01	78 000,00	144,44
Subtotal					262 200,00	485,56
Aplicación de carbonato de calcio	HH	8,00	1102,21	2,04	8817,68	16,33
Preparación de semilla	HH	48,00	1102,21	2,04	52 906,08	97,97
Siembra	HH	72,00	1102,21	2,04	79 359,12	146,96
Control de plagas y enfermedades	HH	24,00	1102,21	2,04	26 453,04	48,99
Control de malezas	HH	180,00	1102,21	2,04	198 397,80	367,40
Aplicación de primera fertilización	HH	12,00	1102,21	2,04	13 226,52	24,49
Aplicación de segunda fertilización	HH	12,00	1102,21	2,04	13 226,52	24,49
Cosecha y selección	HH	240,00	1102,21	2,04	264 530,40	489,87
Subtotal					656 917,16	1216,51
Cargas sociales	%	0,32			210 213,49	389,28
Subtotal					867 130,65	1605,80

Materiales e insumos						
Semilla	Estacas	17 000,00	6,00	0,01	102 000,00	188,89
Carbonato de calcio	kg	1000,00	38,94	0,07	38 940,00	72,11
Fertilizante 10-30-10	kg	300,00	403,33	0,75	121 000,00	224,07
Fertilizante 15-3-31	kg	300,00	398,44	0,74	119 533,33	221,36
Subtotal					381 473,33	706,43

Gran subtotal					1 510 803,98	2797,79
Imprevistos	%	0,05			75 540,20	139,89
Gran total					1 586 344,18	2937,67

Rendimiento (qq/ha)		300,00				
Rendimiento de exportación (qq/ha)		240,00				
Quintales no exportables		60,00				

ESCENARIOS

RENDIMIENTO quintales/ha	¢/qq	Utilidad bruta	Utilidad neta
250	5000,00	1 250 000,00	(336 344,18)
300	5000,00	1 500 000,00	(86 344,18)
250	7500,00	1 875 000,00	288 655,82
300	7500,00	2 250 000,00	663 655,82
250	10 000,00	2 500 000,00	913 655,82
300	10 000,00	3 000 000,00	1 413 655,82

qq = 46 kg

Tipo de cambio: ¢ 540,00/1 USD (noviembre, 2015)

HM = horas máquina, HH = horas hombre

Como se observa en el cuadro anterior, los precios por quintal menores a ¢7500,00 no son rentables, sino que más bien dejan una pérdida económica. Se recomienda lograr rendimientos mayores a 250 quintales por hectárea y precios de mercado mayores a ¢7500,00 por quintal.

GLOSARIO

Acinturamiento: Disminución en el cuerpo de la yuca que afecta la apariencia típica de la variedad.

Cicatriz: Raspón, abrasión o herida seca.

Cortes: Desgarres profundos en el tallo y/o ápice de la yuca, que exponen un área considerable de la pulpa.

Cultivo *in vitro*: Sistema de cultivo de plantas dentro de un frasco de vidrio en un ambiente artificial. El cultivo *in vitro* se define como aquel que se desarrolla en un medio nutritivo, en condiciones estériles, de plantas, semillas, órganos, explantes, tejidos, células y protoplastos de plantas superiores. Consta de cuatro fases: iniciación, multiplicación, desarrollo y aclimatación (endurecimiento).

Daño de insecto o roedor: Alteración causada por insectos o roedores que generalmente presenta una ruptura en la cáscara, que puede ser reciente o cicatrizada.

Daños leves: Daños en el producto que no progresan con el tiempo y llegan con igual apariencia al punto de destino. También se les conoce como daños permanentes. Ejemplos de este tipo de daños son la suciedad, una malformación, la presencia de insectos y las cicatrices.

Daños mecánicos: Golpes, heridas, rajaduras o raíces quebradas. Son severos cuando exponen la pulpa o son muy grandes y/o numerosos.

Daños severos: Daños en el producto que progresan con el tiempo y degradan la calidad interna hasta una forma no comercial. También se les conoce como daños de condición. Ejemplos de este tipo de daño son las pudriciones, el moho, las heridas recientes, los daños mecánicos severos y los daños recientes de insectos.

Deforme: Forma fuera de las características típicas de la variedad (cónica alargada) de la yuca que afecta significativamente la apariencia.

Descascaramiento: Pérdida de la corteza del producto provocada por roces con superficies duras y que exponen la pulpa.

Desinfección: Proceso físico o químico que elimina o inactiva agentes patógenos, tales como bacterias, virus y protozoos, entre otros.

Disección: División en partes de una planta para obtener un explante de tamaño deseado para su cultivo.

Ensayos multilocales o pruebas regionales: Parcelas que se establecen con el fin de determinar el comportamiento de los clones en diferentes condiciones agroecológicas y sistemas de manejo.

Esqueje: Segmento de tallo, rama, hoja o raíz que se usa para propagación asexual.

Estaca: Segmento de tallo con yemas, de consistencia leñosa que se separa de una planta. Las estacas, por consiguiente, son un medio para la propagación vegetativa o asexual de muchas especies, sean estas arbóreas o arbustivas.

Explante: Tejido vivo vegetal separado de su órgano propio y transferido a un medio de crecimiento artificial en condiciones asépticas.

Hongos o moho en la cáscara: Presencia de hongos en la cáscara donde hay daños, usualmente recientes. Se presenta cuando la yuca es expuesta a humedad alta y temperatura fuera de lo recomendado. El hongo es usualmente de apariencia algodonosa, de color gris, blanquizco o negro. Generalmente se observa en almacenamiento o en el punto de destino.

Mala apariencia: Apariencia de aquellas cajas con producto que al momento de la inspección presentan abultamientos en su forma, suciedad, cartón de mala calidad o usado y/o cuando el producto sobrepase la altura de la caja.

Medio de cultivo: Sustrato artificial en gel o solución que cuenta con los nutrimentos necesarios para permitir el crecimiento de microorganismos, tejidos vegetales o incluso plantas pequeñas.

Parafinado: Proceso de inmersión en parafina líquida que se le hace al producto para protegerlo de la deshidratación y del ataque de patógenos. Cuando el parafinado de la yuca es muy grueso, desuniforme y/o quedan áreas desprotegidas, no es aceptado en el empaque.

Parcelas de observación: Parcelas establecidas para obtener información sobre el desempeño de los clones en condiciones locales, de tal forma que tanto agricultores y personal técnico puedan tomar decisiones sobre el comportamiento de los materiales.

Planta madre: Planta donante de semillas, yemas, trozos de hoja, porciones de raíces o de otros tejidos vegetales que se utilizan para la obtención de explantes.

Plántula: Embrión ya desarrollado como consecuencia de la germinación; planta joven en sus primeros estados de desarrollo.

Presencia de insectos: Presencia de cualquier insecto vivo sobre la superficie del producto o sobre cajas inspeccionadas.

Pudrición: Descomposición y/o deterioro de partes de la yuca debido a hongos o bacterias.

Raicillas: Pequeñas raíces fibrosas secundarias presentes en el producto. No son aceptadas cuando son muy grandes o se encuentran en gran cantidad.

Semilla: Cualquier parte viva que se utilice para multiplicar o reproducir una especie vegetal (semilla botánica, estacas, esquejes, yemas, bulbos y otros).

Suciedad: Presencia significativa de polvo, tierra, grasa o cualquier otro residuo de materia que afecte la apariencia de la yuca.

Varilla: Porción de tallo que comprende desde 20 cm del nivel del suelo hasta el primer verticilo, con una longitud superior a 1 m y con un diámetro que varía entre 1,3 y 2,5 cm (de 0,5 a 1,0 pulgada).

LITERATURA CITADA

- Acuña, A; Aguilar, E; Benach, A; Morales, J; Martínez, E. 2010. Visita técnica y capacitación sobre sistemas de producción de yuca en Brasil. San José, Costa Rica, INTA. 43 p. Informe final. Archivos Dirección Ejecutiva.
- Aguilar, E. 2011. Evaluaciones agronómicas de variedades de yucas amargas. San José, Costa Rica, INTA. 10 p. Informe de Archivos Técnicos.
- Aguilar, P. 1991. Plagas de las plantas tuberosas tropicales. *In* Manual de manejo integrado. Santiago, Chile. FAO. 104 p.
- Alvarado, G; Cornejo, F. 2009. Obtención de harina de yuca para el desarrollo de productos dulces destinados para la alimentación de celíacos (en línea). Ecuador. 6 p. Consultado 17 nov. 2016. Disponible en <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6391/1/Obtenci%C3%B3n%20de%20harina%20de%20yuca%20para%20el%20desarrollo%20de%20productos%20dulces.pdf>.
- Álvarez, E; Mejía, J. 2004. Super alargamiento de la yuca. Boletín CIAT-CLAYUCA-CHEMONICS-USAID. Cali, Colombia. 6 p.
- Álvarez, E; Mejía, J; Llano, G; Loke, J; Calari, A; Duduk, B; Bertaccini, A. 2009. Detection and molecular characterization of Phytoplasma associated with frog skin disease in cassava. *Plant Disease* 93:1139-1145.
- Álvarez, E; Mejía, J; Pardo, JM. 2010. Development of a real-time PCR assay, to detect and quantify a 16SrIII-L Phytoplasma associated with cassava frog skin disease (CFSD). *Phytopathology* 100:1-5.
- Ángel, JC; Pineda, BL; Nolt, B; Velasco, AC. 1990. Mosca blanca (Homoptera: Aleyrodidae) asociadas a transmisión de virus en yuca. *Fitopatología Colombiana* 13(1):65-71.
- Arroyo, L; Ugalde, M; Araya, E. 2003. Zonificación Agroecológica (ZAE) de 15 cultivos prioritarios de la región Huetar Atlántica de Costa Rica. San José. Costa Rica, MAG. 84 p.
- Ayerbe, A. 2002. Efecto en el rendimiento productivo de cerdos en la etapa de acabado por el remplazo del total del maíz por harina de yuca en la dieta (en línea). Tesis Lic. Santiago de Cali, Colombia. Universidad de San Buena Ventura. 52 p. Consultado 2 ene. 2017. Disponible en http://www.clayuca.org/sitio/index.php/component/k2/item/download/19_307008feb051eb4b45d1cf031cce2bb1.
- Bellotti, A; Arias, B; Herrera, C; Holguín, C. 2007. Programa integrado de moscas blancas asociadas al cultivo de yuca. Cali, Colombia, CIAT. 22 p.
- Bellotti, A; Herrera, CJ; Melo, EL; Arias, B; Guerrero, JM; Hernández, M. 2011. Control de plagas en el cultivo de la yuca. Cali, Colombia, CIAT. 14 p.
- Bellotti, A; Reyes, J; Guerrero, JM. 1982. Ácaros presentes en el cultivo de yuca y su control. Cali, Colombia, CIAT. 16 p.
- Bellotti, A; Reyes, J; Vargas, O; Arias, B; Guerrero, J. 1983. Descripción de las plagas que atacan la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y características de sus daños (en línea). Cali, Colombia, CIAT. 52 p. Consultado 16 nov. 2016. Disponible en <https://books.google.com/books?id=SnEzR817cg8C>.

- Bokanga M. 1999. Cassava: post-harvest operations (en línea). Ibadan, Nigeria, IITA. 36 p. Consultado 4 jul. 2016. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-au998e.pdf>.
- Bonierbale, M; Guevara, C; Dixon, A; Ng, N; Asiedu, R; Ng, S. 1997. Cassava. *In* Fuccillo, D; Sears, L; Stapleton, P (eds.). Biodiversity in trust: conservation and use of plant genetic resources in CGIAR centres. Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press. p. 1-20.
- Brenes, L. 2008. Mitos para olvidar sobre las MIPYMES (en línea). San José, Costa Rica. 2 p. Consultado 10 set. 2016. Disponible en http://www.nacion.com/opinion/foros/Mitos-olvidar-Mipymes_0_976302446.html.
- Brigstocke, T; Cuthbert, N; Thickett, W; Lindeman, MA; Wilson, PN. 1981. A comparison of a dairy cow compound feed with and without cassava given with grass silage (en línea). *Animal Science* 33(1):19-24. Consultado 2 ene. 2017. Disponible en <https://doi.org/10.1017/S0003356100025150>.
- Cadavid, F. 2011. Manual de nutrición vegetal: una visión de los aspectos nutricionales del cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Cali, Colombia. CIAT. 175 p.
- Campabadal, C. 2009. Guía técnica para alimentación de cerdos. San José, Costa Rica, MAG. 46 p.
- Cásseres, HE. 1986. Papa, yuca y camote: cultivo y aprovechamiento. Santiago, Chile, FAO. p. 40-50.
- Cardoso, RM, Campos, J; Hill, D; de Silva Coelho, J. 1968. Efeito de substituição gradativa do milho pela vasa de mandioca, na produção de leite. *Revista Ceres* 14(82):308-330.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical, Colombia). 1991. Cultivo de tejidos en la agricultura: Fundamentos y aplicaciones. 970 p.
- Clayuca Net. 2004. Yuca por maíz en dieta porcina (en línea). Boletín Electrónico del Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y Desarrollo de la Yuca. 19 p. Consultado 16 dic. 2016. Disponible en http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/2015/Clayuca_Net_No_6_Marzo_2004.pdf.
- CNP (Consejo Nacional de Producción, Costa Rica). 2016. Análisis de mercados (en línea). Boletín 1 febrero 2016. Consultado 10 set. 2016. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/w5800s/w5800s12.htm>.
- Escobar, R; Caicedo, E; Muñoz, L. 2012. El cultivo *in vitro*: otra manera de propagar yuca. Cali, Colombia, CIAT. 52 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2012. Global market analysis. *Food Outlook*. Roma, Italia. 147 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2013. Agroindustrias para el desarrollo (en línea). 316 p. Consultado 9 ago. 2016. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3125s.pdf>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2016. Identification of indicators for evaluating of sustainable animal diets. *Animal Production and Health Working Paper*. Roma, Italia. n°.15.
- Feedipedia (Animal Feed Resources Information System). Cassava roots (en línea). Consultado 2 ene. 2016. Disponible <http://www.feedipedia.org/node/527>.
- Fonseca, L; Saborío, D. 2001. Tecnología poscosecha de la yuca fresca parafinada (*Manihot esculenta* C) para la exportación en Costa Rica. San José, Costa Rica, MAG. 56 p.

- García, CA; Bellotti, CA. 1980. Estudio preliminar de la biología y morfología de *Cyrtomenus bergi* F. Nueva plaga de la yuca. Revista Colombiana de Entomología. 6(3-4):55-61.
- García, JA. 2013. Asesoría implementación planta procesamiento de yuca. San José, Costa Rica, INTA. Informe Final, CLAYUCA. Archivos del Proyecto INTA-PRIIICA. 21 p.
- Gil, JL; Buitrago, JA. s. f. La yuca en la alimentación animal [en línea]. 43 p. Consultado 16 dic. 2016. Disponible en <http://ciat-library.ciat.cgiar.org:8080/jspui/bitstream/123456789/1358/1/capitulo28.pdf>.
- Giraldo, A; Velasco, R; Aristizabal J. 2005. Obtención de harina a partir de hojas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) para consumo humano [en línea]. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial 4(1):33-42. Consultado 22 nov. 2006. Disponible en <http://www.unicauca.edu.co/biotecnologia/ediciones-/vol4/4.pdf>.
- Gómez, Y; Torres, S; Álvarez, E; Pardo, J; Aguilar, E; Solórzano, J. 2015. Manejo de la semilla y de la enfermedad de cuero de sapo en yuca. San José, Costa Rica, INTA. 22 p.
- González, J. 2010. Situación actual, desafíos y oportunidades de la lechería en Costa Rica [en línea] In Congreso Nacional Lechero (San Carlos, Costa Rica). Memorias. San José, Costa Rica, Cámara Nacional de Productores de Leche. 56 p. Consultado 5 nov. 2014. Disponible en <http://www.proleche.com/index.php/component/content/article?id=76>.
- Hehn, SK. 1988. An overview of traditional processing and utilization of cassava in Africa [en línea]. In IITA/ILCA/University of Ibadan Workshop on the Potential Utilization of Cassava as Livestock Feed in Africa (Ibadan, Nigeria). Proceedings. Ibadan, Nigeria, IITA. p.16-27.
- Hernández, L. 2014. Manejo integrado del cultivo de yuca en el Caribe colombiano [en línea]. Consultado 16 jul. 2016. s. n. t. Disponible en <http://es.slideshare.net/libardoefflorenz/manejo-integrado-del-cultivo-de-la-yuca-en-el-caribe-colombiano>.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos, Costa Rica). 2015. VI Censo Nacional Agropecuario. San José, Costa Rica. 146 p.
- Kanjanapruthipong, J; Bautoug, N; Kanto, U; Juttupornpong, S; Chaw-uthai, W. 2001. Cassava chips and ground corn as sources of total non-fiber carbohydrate in total mixed ration for dairy cows. Asian-Australian Journal of Animal Science 14(2):206-210.
- Kanto, U; Juttupornpong, S. 2007. Clean cassava chips for animal feeding in Thailand [en línea]. In Regional Workshop. Cassava research and development in Asia: exploring new opportunities for an ancient crop (7, Bangkok, Tailandia). Proceedings. Cali, Colombia, CIAT. p. 542-563. Consultado 16 de dic. 2016. Disponible en https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/56568/cassava_research_development_asia.pdf.
- Kumari, S; Jayapal, A; Padmanabhan, VB. 2016. Tropical Tuber Crops. In Srinivasa Rao, NK; Shivashankara, KS; Laxman, RH (eds.). Abiotic stress physiology of horticultural crops. India, Springer India. p. 358-359.
- Lardizabal, R. 2009. Manual de producción: producción de yuca Valencia [en línea]. 27 p. Tegucigalpa, Honduras, MCA-Honduras/EDA. Consultado 16 jul. 2016. Disponible en http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/bitstream/handle/123456789/77/EDA_Manual_Produccion_Yuca_06_09.pdf?sequence=1.
- León, J. 1987. Botánica de los cultivos tropicales. San José, Costa Rica, IICA. 445 p.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica). 1991. Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos. San José, Costa Rica, DIA. 559 p.

- McDonald, P; Edwards, RA; Greenhalgh, J. 2002. Animal Nutrition. 6 ed. Londres, Reino Unido, Longman. 543 p.
- Melo, EL; Ortega, CA; Gaigl, A; Ehler, RU; Belloti, AC. 2006. Evaluación de dos cepas comerciales de entomonematodos como agentes de control de *Cyrtomenus bergi* Froeschner (Hemiptera: Cydnidae). Revista Colombiana de Entomología 32(1):31-38.
- Mendoza, E; Parada, M. 2002. El barrenador del tallo de jocote. Boletín Técnico n° 9. El Salvador, CENTA.
- Monge, C. 2012. El mercado de raíces y tubérculos en la Unión Europea. San José, Costa Rica, PROCOMER. 20 p.
- Monge, J. 1999. La taltuza: una plaga vertebrada importante en Costa Rica (en línea). In Congreso Agronómico Nacional y de Recursos Naturales (11, San José, Costa Rica). Memoria. San José, Costa Rica, MAG. 71 p. Consultado 1 nov. 2016. Disponible en http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-II_377.pdf.
- Morales, J. 2016. Desarrollo e implementación de un centro de capacitación para agricultores(as), técnicos agropecuarios y otros usuarios, para el procesamiento y uso de la yuca para la alimentación animal, humana y otras industrias. Capítulo 2. San José, Costa Rica. Informe Final. Proyecto PRIICA Cultivo Yuca País Costa Rica, INTA- PRIICA. 50 p.
- Morales, J; Batista, M. 2016. Respuesta de cerdos en engorde a dietas balanceadas con sustitución de maíz amarillo con harina integral de yuca (*Manihot esculenta*). San José, Costa Rica, INTA. De próxima publicación.
- ONS (Oficina Nacional de Semillas, Costa Rica). 2014. Reglamento técnico para la certificación de semilla de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). San José, Costa Rica. 14 p.
- Ospina, B; Ceballos, H. 2002. La yuca en el tercer milenio: sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Cali, Colombia, CIAT, CLAYUCA. 585 p.
- Pérez, J. 1998. Propagación y mejora de plantas por biotecnología. Santa Clara, Cuba. Instituto de Biotecnología de Plantas. 400 p.
- Quirós, AB; De Diego, JE. 2006. Análisis de crecimiento y absorción de nutrimentos de yuca (*Manihot esculenta*). Tesis Lic. San Carlos, Costa Rica, ITCR. 121 p.
- Retana, A; Soto, G. 2002. *Trichinothrips strasseni*: nueva especie de trips asociada al cultivo de yuca en Costa Rica. Manejo Integrado de Plagas 63:71-72.
- Rivera Hernández, JF. 2011. La mosca de las agallas (*Jatrophia brasiliensis*) en el cultivo de yuca (en línea). Revista de la Universidad de La Salle (56):277-288. Consultado 16 nov. 2016. Disponible en <https://revistas.lasalle.edu.co/index.php/ls/article/view/510/430>.
- Salazar Rosero, MA; Prager Mosquera, M; Ararat Rojas, JE. 2004. Evaluación de abonos verdes en el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en un inceptisol de la zona de ladera del departamento del Cauca. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín 57(2):2413-2422.
- Sanda, I; Methu, J. 1988. Evaluation of cassava energy source in dairy cow concentrate feeds on Kenia. In IITA/ILCA/University of Ibadan Workshop on the Potential Utilization of Cassava as Livestock Feed in Africa (Ibadan, Nigeria). Proceedings. Ibadan, Nigeria, IITA. p. 127-134.
- Sandoval, MF; Orlando, O; Vásquez, C. 2011. Idiosomal setae analysis in *Oligonychus peruvianus* and *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae) from different hosts. Entomotrópica 26(3):127-136.

- Segreda, AC. 2013. ¿Qué es la agroindustria? Situación actual de la MIPyME en el sector agroalimentario [en línea]. San José, Costa Rica. 42 p. Consultado 23 nov. 2016. Disponible en <http://www.platicar.go.cr/>.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria, Costa Rica). 2001. Boletín Estadístico Agropecuario n.º 12. San José, Costa Rica, MAG.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria, Costa Rica). 2009. Boletín Estadístico Agropecuario n.º 19. San José, Costa Rica, MAG.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria, Costa Rica). 2015. Boletín Estadístico Agropecuario n.º 25. San José, Costa Rica, MAG.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria, Costa Rica). 2016. Boletín Estadístico Agropecuario n.º 26. San José, Costa Rica, MAG.
- Smith, OB. 1988. A review of ruminant response to cassava-based diets [en línea]. *In* IITA/ILCA/ University of Ibadan Workshop on the Potential Utilization of Cassava as Livestock Feed in Africa (Ibadan, Nigeria). Proceedings. Ibadan, Nigeria, IITA. 5 p. Consultado 2 ene. 2016 Disponible en [http://www.fao.org/wairdocs/ilri/x5458e/x5458e07.htm#a review of ruminant responses to cassava based diets](http://www.fao.org/wairdocs/ilri/x5458e/x5458e07.htm#a%20review%20of%20ruminant%20responses%20to%20cassava%20based%20diets).
- Suárez, L; Mederos, V. 2011. Apuntes sobre el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz): tendencias actuales. Cultivos Tropicales 32(3):27-35.
- Tcwe, O; Egbunike, G. 1988. Utilization of cassava in non-ruminant livestock feeds. *In* IITA/ILCA/ University of Ibadan Workshop on the Potential Utilization of Cassava as Livestock Feed in Africa (Ibadan, Nigeria). Proceedings. Ibadan, Nigeria, IITA. p. 28-38.
- Tiemoko, Y. 1988. The use of cassava broiler diets in Cote d'ivoire. *In* IITA/ILCA/University of Ibadan Workshop on the Potential Utilization of Cassava as Livestock Feed in Africa (Ibadan, Nigeria). Proceedings. Ibadan, Nigeria, IITA. p. 121-126.
- Toro, J; Cañas, A. 1983. Determinación del contenido de material seco y almidón en yuca por el sistema de gravedad específica [en línea], Cali, Colombia, PNUD-CIAT. 656 p. Consultado 16 dic. 2016. Disponible en <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1028s/a1028s03.pdf>.
- Zinn, R; Owens, F; Ware, RA. 2002. Flaking corn: processing mechanism, quality standards and impacts on energy availability and performance of feedlot cattle. Journal of Animal Science 80(5):1145-1156.





CONTÁCTENOS

Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria

Ing. Edgar Aguilar Brenes, MBA.
eaguilar@inta.go.cr
Departamento de Investigación e Innovación-INTA
Teléfono: 2710-4408

Web INTA: www.inta.go.cr
Plataforma INTA: www.platicar.go.cr

Unidad Coordinadora del PRIICA (UCP) Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)

Sede Central. San José, Vásquez de Coronado,
San Isidro 11101-Costa Rica, América Central
Apartado 55-2200
Teléfonos: (506) 2216-0313 / 0320
Fax: (506) 2216-0233
Correo electrónico: infopriica@iica.int

www.iica.int
www.priica.sictanet.org