

Tecnologías para el SECADO NATURAL DE TROZOS DE YUCA para Uso en Alimentación Animal



FUNDACIÓN PROMOTORA
DEL CANAL DEL DIQUE

TECNOLOGÍAS PARA EL SECADO NATURAL DE TROZOS DE YUCA PARA USO EN ALIMENTACIÓN ANIMAL



FUNDACION PROMOTORA
DEL CANAL DEL DIQUE

Este documento hace parte del Proyecto:

“Apoyo al establecimiento de nuevas áreas agrícolas y/o mejoramiento de áreas ya establecidas, de pequeña y mediana escala”.

Subproyecto:

Poscosecha de yuca

MÓDULO 2: TECNOLOGÍAS PARA EL SECADO NATURAL DE TROZOS DE YUCA PARA USO EN ALIMENTACIÓN ANIMAL

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

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

CONTENIDO

	Página
1. SECADO DE TROZOS DE YUCA EN PATIOS DE CONCRETO	1
Proceso de Producción de Yuca Seca	1
<i>Cosecha</i>	1
<i>Pesaje de las raíces frescas</i>	3
<i>Lavado</i>	3
<i>Picado en trozos</i>	4
<i>Secado</i>	4
<i>Recolección y empaque</i>	6
<i>Molienda</i>	8
<i>Almacenamiento</i>	8
Normas de Calidad para la Yuca Seca	10
Infraestructura de una Planta de Secado de Yuca	11
<i>Patio de secado</i>	11
<i>Área para picar trozos</i>	13
<i>Bodega de almacenamiento</i>	14
Equipo de una Planta de Secado	16
<i>Báscula</i>	16
<i>Máquina picadora</i>	16
<i>Implementos para secado y recolección</i>	17
Condiciones para Establecer la Planta de Secado Natural	18
1. <i>Producción de yuca en el área de influencia</i>	19
2. <i>Tamaño y capacidad de la planta</i>	19
3. <i>Administración acertada y operación organizada</i>	21
4. <i>Financiación requerida</i>	22
5. <i>Mercadeo de la yuca seca</i>	24
2. DETERMINACIÓN DE MATERIA SECA DE LAS RAÍCES FRESCAS POR EL MÉTODO DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA	27
Elementos para Determinar la GE	27
Operaciones del Método de GE	28
<i>Toma de las muestras</i>	28
<i>Peso fresco de raíces en el aire (PFRAi)</i>	28
<i>Peso fresco de raíces en el agua (PFRAg)</i>	28
3. SECADO DE TROZOS DE YUCA EN BANDEJAS INCLINADAS	33
Bandejas	33
<i>Materiales</i>	33
<i>Manejo</i>	34
Tiempo de Secado	37
<i>Etapas inicial</i>	37
<i>Etapas final</i>	38
Tamaño de los Trozos	39
<i>Tiempos</i>	40
Costos	43
<i>De infraestructura</i>	43
<i>De inversión</i>	45
BIBLIOGRAFÍA	47



1. SECADO DE TROZOS DE YUCA EN PATIOS DE CONCRETO

Bernardo Ospina*, Rupert Best**, Lisímaco Alonso***

La yuca es uno de los cultivos de mayor importancia en las regiones tropicales. Tiene un gran potencial para el desarrollo de procesos agroindustriales para la fabricación de raciones 'balanceadas' (equilibradas) para animales. Para que el almidón de la yuca sustituya el de los cereales, las raíces de yuca deben someterse primero a un proceso básico de secado.

El secado de la yuca puede hacerse mediante métodos naturales o artificiales; difieren unos de otros no sólo en la tecnología empleada sino también en su costo. En el secado natural se aprovecha la energía solar, lo que restringe su uso a las épocas del año en que no hay lluvias; el secado artificial se hace con otro tipo de energía, como la de los combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas) o la de los residuos agrícolas (bagazo de caña, cáscara de arroz), y no depende de las condiciones climáticas.

A pesar de su limitación a las épocas secas del año, el secado con energía solar es, generalmente, un método económico y muy útil en los sitios en que las otras fuentes de energía son escasas o muy costosas.

El secado natural de la yuca es un proceso simple y fácil de realizar por los agricultores; éstos encuentran en él la oportunidad de consolidar grupos asociativos y cooperativos orientados hacia una explotación integral del cultivo (producción, procesamiento y comercialización). Una agroindustria de este tipo, en el caso de la yuca, es una alternativa ante la inestabilidad del mercado de la yuca fresca y abre la posibilidad de comercializar una producción mayor.

Proceso de Producción de Yuca Seca

Este proceso consta de las siguientes etapas: cosecha, pesaje y trozado de las raíces; secado, empaque y almacenamiento del producto seco (los trozos de yuca). Hay operaciones opcionales, como lavar las raíces antes de picarlas o moler los trozos ya secos, que dependen de las exigencias del mercado (Figura 1).

Cosecha

La yuca se cosecha manualmente y se transporta hasta la planta de secado en empaques o a granel, en diversos vehículos. En cuanto sea posible, las raíces se someten a un control de calidad en el momento de la cosecha: se despojan de fragmentos de tallo adheridos, se desechan las piedras y los terrones que pueden acompañarlas, y se separan las raíces que parezcan infestadas (Figura 2).

* M.Sc., Desarrollo Agrícola Internacional, Director Ejecutivo de la Corporación CLAYUCA, Cali, Colombia. E-mail: b.ospina@clayuca.org

** Ph.D., Ingeniero Químico, Consultor. E-mail: rupertbest@gmail.com

*** Ingeniero Agrícola, Programa de Yuca, CIAT. Cali, Colombia. E-mail: l.alonso@cgiar.org



Las raíces de yuca que tengan un bajo contenido de materia seca (M.S.) afectan negativamente la eficiencia y la rentabilidad del proceso; se consideran, por ello, de menor calidad. El contenido de M.S. depende no sólo de la variedad plantada y de las condiciones del clima y del suelo, sino de la edad y del estado fitosanitario del cultivo en el momento de la cosecha.

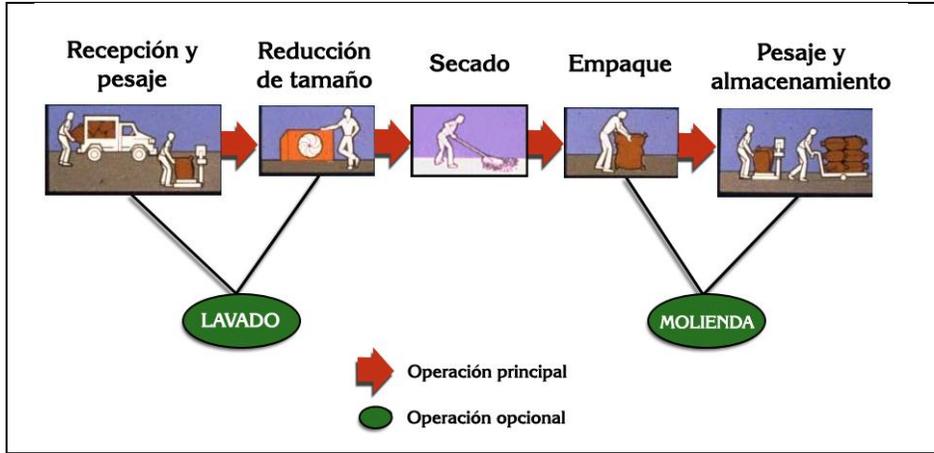


Figura 1. Operaciones del procesamiento natural de las raíces de yuca para obtener trozos secos.



Figura 2. Cosecha manual de la yuca y transporte de las raíces hasta la planta de secado.

Una vez cosechadas las raíces, se deben llevar rápidamente a la planta para que sean procesadas sin demora. Las raíces que pasan más de 48 horas después de la cosecha sin ser procesadas se deterioran rápidamente y el proceso de secado arroja un producto seco de mala calidad.



Pesaje de las raíces frescas

En la planta de secado, la yuca se pesa en una báscula con capacidad para varios bultos a la vez; así se agiliza esta operación (Figura 3). Pesar la yuca antes y después del secado permite definir el parámetro rendimiento, tanto para las variedades de yuca que se utilizan como para el proceso mismo. Todas las variedades de yuca no tienen el mismo rendimiento de trozos secos; por tanto, es muy importante identificar las de mejor rendimiento de la región.

Asimismo, una variedad puede presentar un rendimiento en un proceso de secado y uno diferente en otro proceso cualquiera; para controlar esta diferencia, es necesario evaluarla y pesar según la evaluación de los diferentes lotes de yuca.



Figura 3. Pesaje de las raíces de yuca.

Lavado

Cuando las raíces frescas tienen tierra adherida, el producto seco puede tener un alto contenido de cenizas, especialmente de sílice, lo que reduce su calidad.

La tierra se adhiere a las raíces cuando la yuca se ha cosechado en una época lluviosa y en un suelo pesado; por consiguiente, hay que lavar las raíces en pequeñas piletas o en máquinas lavadoras como la que muestra la Figura 4. Estas máquinas constan de un tambor rotatorio que sacude las raíces mientras las lava con un chorro de agua a presión aplicado por dentro o por fuera del tambor.

En una planta de secado natural casi nunca es necesario lavar las raíces de yuca porque las épocas de secado coinciden con las de la cosecha, es decir, ocurren en los meses de verano. En esta época, las raíces llegan del campo con poca tierra adherida. Conviene anotar que no es necesario quitar la cascarilla ni la cáscara de las raíces de yuca que se destinan a la alimentación animal.



Figura 4. Máquina lavadora de yuca con tambor cilíndrico rotatorio.

Picado en trozos

Para que las raíces se sequen más rápidamente es necesario exponer al aire una mayor superficie de las mismas; esto se logra cortándolas en trozos pequeños y uniformes, labor que se puede realizar utilizando una máquina picadora como la que aparece en la Figura 5.



Figura 5. Máquina picadora de yuca con disco de tipo tailandés.

Secado

El secado de las raíces de yuca es un proceso que elimina la mayor parte de la humedad que contienen cuando están frescas; se obtiene así un producto que se pueda almacenar durante períodos largos, sin que se deteriore.



Los métodos de secado de trozos de yuca más comunes pueden clasificarse, según el nivel de tecnología alcanzado y su costo, de la siguiente manera:

- Secado continuo en secadores rotatorios o de transportador.
- Secado por tandas en secadores de capa estática, empleando aire caliente forzado.
- Secado natural (con luz solar) en pisos de cemento o en bandejas.

La elección del método depende, en gran parte, de la cantidad de yuca que se secará, de la disponibilidad de capital, del costo de la mano de obra, y de la disponibilidad de fuentes de energía relativamente baratas.

El secado natural aprovecha la energía solar y la acción de las corrientes de aire para evaporar la humedad contenida en los trozos de yuca. Se esparcen los trozos de yuca sobre pisos de concreto, de tal manera que queden expuestos a la acción directa de la radiación solar y del calor latente de las corrientes del aire circundante. Esta etapa comprende dos operaciones básicas: el esparcimiento de los trozos en el área de secado y el volteo frecuente de los trozos hasta cuando estén completamente secos.

Esparcir los trozos. Los trozos de yuca se esparcen sobre el piso de concreto formando una capa uniforme. Con la ayuda de una carretilla de mano se depositan los trozos de yuca en montones pequeños; luego, con un rastrillo se dispersan uniformemente los trozos sobre la superficie del patio (Figura 6).

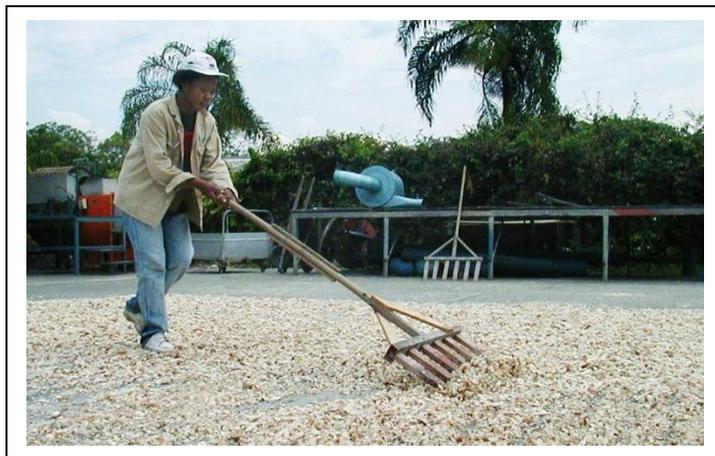


Figura 6. Rastrillo de madera empleado para esparcir los trozos de yuca en el patio de cemento.

En cada m^2 de piso se deben esparcir de 8 a 12 kg de trozos de yuca fresca. Esta carga debe secarse en 2 días si las condiciones climáticas son normales. Una cantidad mayor de yuca por m^2 retarda el secado, causa una pérdida en la eficiencia de la planta y deteriora la calidad final de la yuca seca; una cantidad menor, por su parte, no permite aprovechar toda la capacidad instalada para el secado.

Voltear los trozos. Toda la yuca picada debe secarse uniformemente para que el producto final sea de buena calidad. Para lograr un secado uniforme, los trozos se deben voltear cada 2 horas (o sea, 6 a



8 veces por día), en especial durante las horas iniciales de secado, cuando pierde mayor cantidad de humedad.

Durante la noche, los trozos pueden quedar esparcidos sobre el piso de concreto, a menos que haya posibilidad de lluvias; en este caso, se recomienda apilarlos en la parte más alta del patio y cubrirlos con una tela de plástico o con una lona, para esparcirlos de nuevo a la mañana siguiente. El volteo debe continuar hasta que los trozos se sequen.

Los trozos se voltean con un rastrillo de madera; éste forma surcos dejando así áreas húmedas del piso expuestas a la radiación solar directa (Figura 7).



Figura 7. Volteo de los trozos de yuca con rastrillos de madera cada 2 horas; los rastrillos pueden construirse en la misma planta, especialmente para esta labor.

Recolección y empaque

Cuando los trozos tienen de 10% a 12% de humedad, se recogen y empacan. En las plantas de secado, este nivel de humedad se determina al tacto: cuando los trozos están suficientemente secos, se quiebran con facilidad al presionarlos entre los dedos y es posible escribir con ellos como si fueran tizas.

La recolección de los trozos se hace con dos palas: una ancha de madera, con la cual se amontonan los trozos secos (Figura 8) y otra corta y metálica, con la cual se empaican luego los montones en bolsas o sacos de fique (cabuya) o de polipropileno. Para esta última labor se necesitan, generalmente, dos personas; una mantiene abierta la boca del costal y otra deposita en él los trozos secos. Se puede utilizar también un embudo de metal en cuya salida se suspende un saco abierto (Figura 9).

Una bolsa de fique puede contener de 40 a 50 kg, pero si se apisonan los trozos secos a medida que llenan el saco, éste tendrá al final mayor peso (Figura 10).



Figura 8. Los trozos secos se recolectan amontonándolos en el patio con la ayuda de una pala de madera.

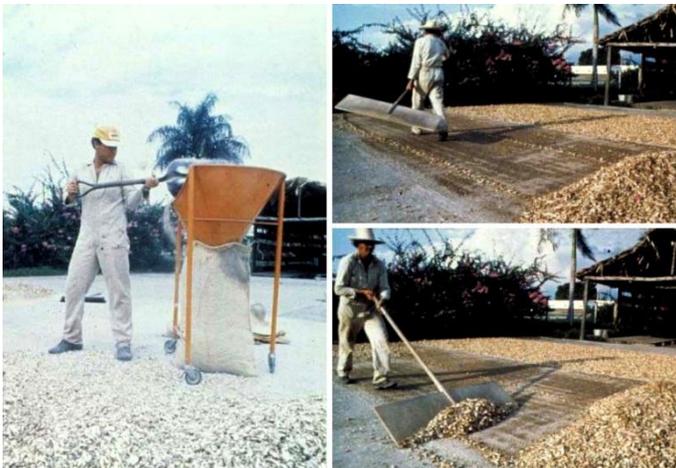


Figura 9. Un embudo de metal facilita el empaque de los trozos secos.



Figura 10. Apisonando los trozos secos en los costales, es posible obtener bultos de más de 50 kg.



Molienda

Transportar yuca a lugares distantes es costoso a causa del poco peso por unidad de volumen que tienen los trozos secos. Por tanto, a veces conviene moler los trozos y obtener harina para empacarla en bolsas de polipropileno, papel o tela. La molienda se hace en un molino de martillos, al cual se le adaptan filtros de tela en que se recoge el polvo fino que resulta en la operación (Figura 11).

La yuca se suele mercadear como trozos porque no es fácil hacer el control de calidad de la harina en las empresas que la consumen o en las fábricas de alimentos concentrados para animales.



Figura 11. Molienda de trozos secos de yuca.

Almacenamiento

La planta de secado debe disponer de una bodega para almacenar los trozos de yuca seca mientras llega el momento de enviarlos a las empresas compradoras. Los bultos se deben apilar sobre bases de madera o en estibas (Figura 12).

Cuando las condiciones del sitio de almacenamiento se controlan adecuadamente, la yuca seca (10% a 12% de humedad) se conserva almacenada durante períodos prolongados (6 a 12 meses) sin que se deteriore su calidad. Las condiciones óptimas se logran si la bodega se mantiene muy limpia, y se instalan en ella mecanismos de aireación suficientes para manejar el movimiento de humedad entre la bodega y el exterior.

Si hay alta humedad en el ambiente, la yuca seca absorbe esa humedad que, junto con el alto contenido de almidón de la yuca, estimula en los trozos de raíz el crecimiento de varios hongos; éstos producen toxinas que impiden, finalmente, el uso de la yuca para la alimentación animal.

La yuca seca almacenada también puede ser atacada por insectos plaga. En los trozos de yuca seca se han encontrado alrededor de 38 especies de insectos, principalmente del orden Coleoptera, aunque sólo se consideran importantes los que pueden reproducirse en ella. Estudios realizados en el CIAT indican que *Araecerus fasciculatus* y *Lasioderma senicorne* pueden causar grandes pérdidas a la yuca seca (Figura 13).



Figura 12. En la bodega, los bultos con trozos de yuca se deben apilar sobre estibas o bases de madera.

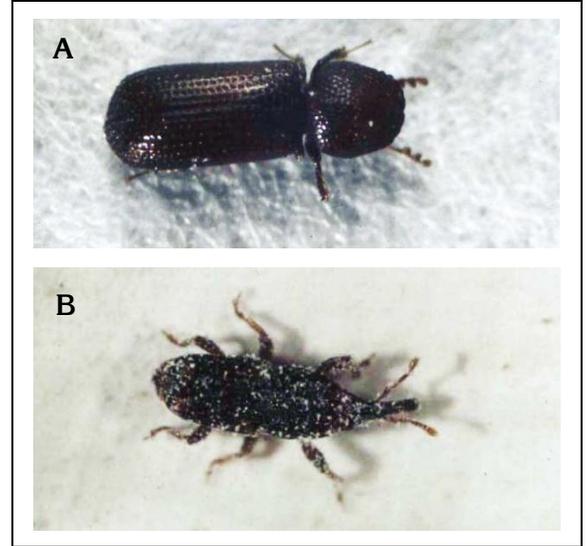


Figura 22-13. Los insectos *Araecerus* sp. (A) y *Sitophilus oryzae* (B) pueden causar grandes pérdidas a la yuca seca almacenada.

La Figura 14 ilustra el proceso de secado de las raíces desde la cosecha hasta el almacenamiento e indica la duración normal de cada etapa del proceso.

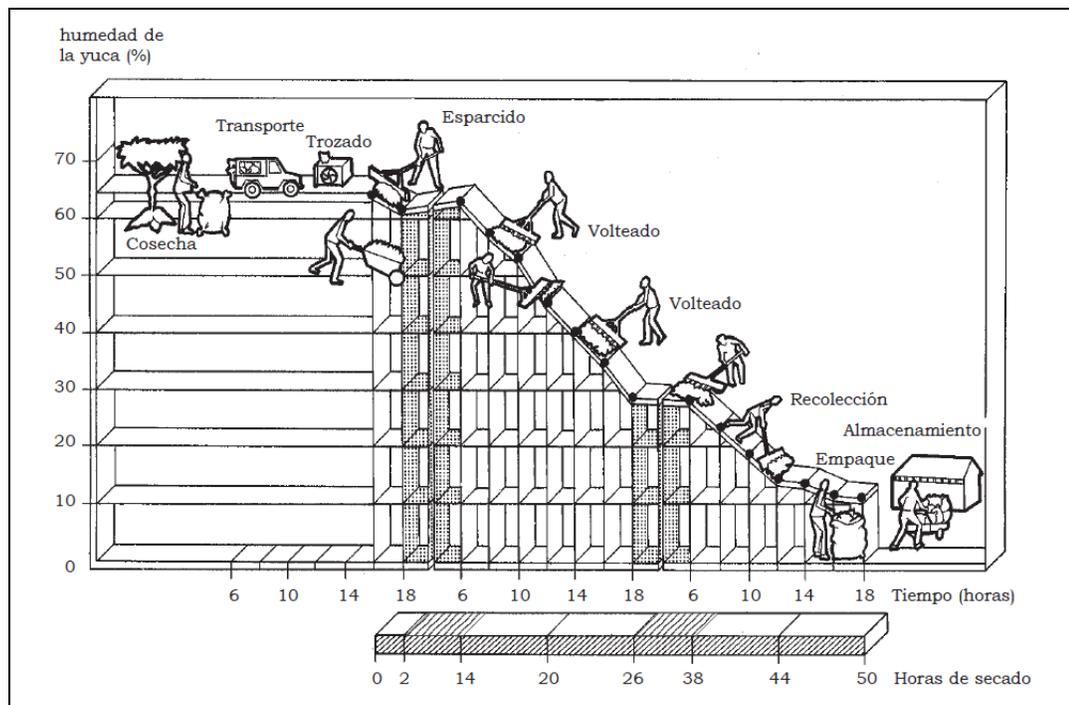


Figura 14. Curva de pérdida de humedad en el proceso de secado de los trozos de yuca. Se indica además la duración de las etapas del proceso (y de la totalidad de éste) en condiciones normales.



Normas de Calidad para la Yuca Seca

La yuca seca se utiliza, principalmente, como sustituto total o parcial de los cereales en la formulación de alimentos ‘balanceados’ para animales; su calidad se debe ajustar, por tanto, a la exigida por las empresas que procesan dichos alimentos. Las normas básicas de calidad estipuladas por las empresas que emplean yuca seca se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Normas básicas de calidad estipuladas por las empresas que emplean yuca seca.

Componente/aspecto	Norma
Humedad (%)	12.0
Fibra cruda, máximo (%)	5.0
Ceniza, máximo (%)	3.5
Hongos y levaduras, conteo máximo (UFC/g)	100,000
Aflatoxinas y ocratoxinas	Ausentes
Cianuro total (ppm)	100
Coliformes, total (UFCLAR)	600
Presentación	Trozos

Además de estas normas, el producto debe cumplir los siguientes requisitos: estar fresco, no tener olor a fermento, y no presentar signos de ataque de insectos o de daño por contaminación.

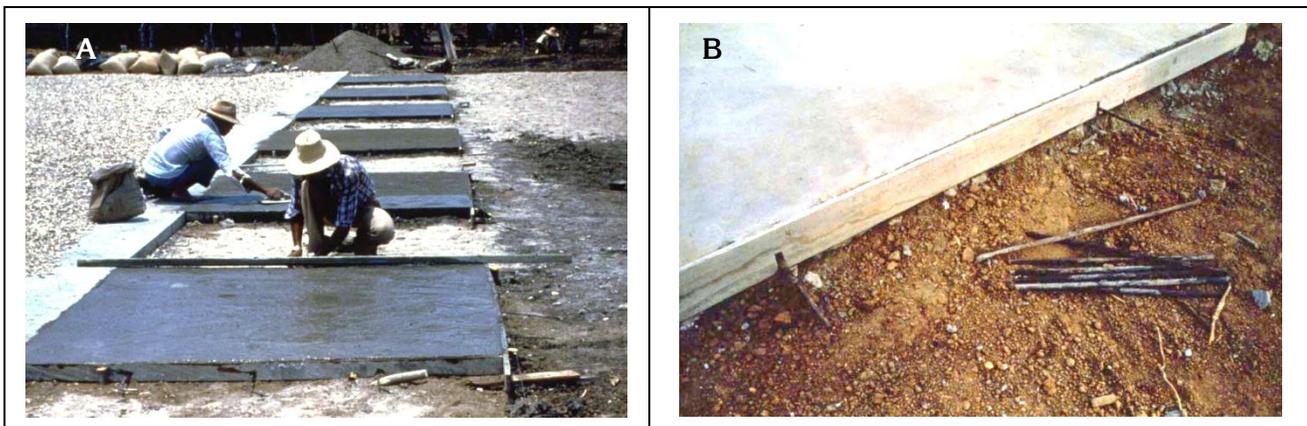


Figura 15. Entre las placas de cemento se colocan las juntas de dilatación (A) y las varillas de hierro (B).



Infraestructura de una Planta de Secado de Yuca

Al instalar una planta de secado de yuca debe escogerse cuidadosamente su ubicación respecto a la distancia de los sitios de suministro de la materia prima y a las buenas vías de acceso. Conviene que disponga, además, de fuentes de agua y de energía eléctrica.

La infraestructura mínima de una planta de secado consiste en un patio de secado, un área de picado y una bodega de almacenamiento.

Patio de secado

Los trozos de yuca se exponen a la radiación solar en una superficie diseñada para este propósito: es un patio de secado cuyo piso debe ser resistente (que no se agriete) y liso, para que permita el deslizamiento fácil de los rastrillos y palas que se usan para esparcir, voltear y recoger los trozos de yuca.

En el área de secado no debe haber árboles, edificaciones u obstáculos similares que disminuyan la ventilación natural o que den sombra al área. Asimismo, se debe tener en cuenta la pendiente natural del terreno para que el patio quede con un declive que permita el drenaje de las aguas de lluvia.

La construcción del piso de secado es específica de cada región y es muy conveniente que en ella participen los agricultores; el procedimiento de construcción dependerá del tipo de organización que ellos tengan. Se recomienda siempre que se contrate a un albañil experto para que dirija los trabajos. Los pasos del procedimiento son los siguientes:

- El paso inicial es **demarcar el área** que ocupará el patio. Se retira la capa vegetal del terreno, y se nivela y compacta la superficie expuesta. Una buena compactación garantiza la calidad de la obra. Durante la compactación, la parte central del patio debe quedar a un nivel más alto que las partes laterales; así se obtiene un desnivel a dos aguas que facilita la evacuación rápida de las aguas de lluvia.
- Luego se hace el **cimiento o soporte del piso** en el perímetro del área del patio. El cimiento debe tener de 20 a 30 cm de espesor y de 30 a 40 cm de profundidad; se construye en concreto fundido o con bloques de concreto. El piso se hace también de concreto o en hormigón simple y su espesor más adecuado sería 10 cm si sólo se permite el paso de personas por su área. Si se cree que debe permitirse la circulación de vehículos automotores pesados en el piso, el espesor de éste debe ser mayor que 15 ó 20 cm y hay que reforzarlo con hierro.

En el concreto debe dosificarse la mezcla de cemento, arena limpia, grava libre de materias terrosas y agua según las características del suelo. En general, los suelos arcillosos requieren la mezcla 1:2:3 (cemento:arena:grava) y los suelos arenosos la 1:3:4; sin embargo, la dosis adecuada de estos componentes proviene de la experiencia del albañil experto o del constructor.

La Tabla 2 indica las cantidades de los elementos necesarios para preparar 1 m³ de concreto según la mezcla especificada.



- El tercer paso es **vaci**ar el **piso** de secado. Se recomienda dividir el área de construcción en zonas o placas de 2 m x 2 m, dejando entre las placas una separación angosta en la que se coloca una “junta de dilatación” que es, simplemente, una tira de madera que se retira al final de la obra (Figura 15A). Para disminuir el riesgo de agrietamiento del piso, se deben colocar, entre placa y placa, trozos de varilla de hierro que, al fundirse con las placas, servirán como elementos de unión (Figura 15B).
- El cuarto paso, una vez fundido el piso, es **pulir y resanar** el piso para corregir las grietas que hayan quedado. Enseguida se retiran los listones de madera que sirvieron como juntas de dilatación y se rellenan las separaciones entre las placas con un mortero de cemento y arena o con brea. En la Figura 16 se observa el aspecto final del área de secado.

Tabla 2. Cantidades de cemento, arena, grava y agua para preparar 1 m³ de concreto, según la mezcla que se requiera.

Dosis o mezcla	Componentes			
	Cemento (kg) ^a	Arena (m ³)	Grava (m ³)	Agua (lt)
1:2:2	420	0.670	0.670	192
1:2:3	350	0.555	0.835	158
1:2:4	300	0.475	0.950	135
1:3:3	300	0.715	0.715	135
1:3:4	260	0.625	0.835	124
1:3:5	230	0.555	0.920	101
1:3:6	210	0.500	1.000	94

a. 1 m³ de cemento alcanza para 12.5 m² de piso de 8 cm de profundidad.



Figura 16. Aspecto final del patio de secado de yuca.



La división del área de secado en placas de 2 x 2 m tiene una ventaja: facilitará a los operarios la distribución de la cantidad adecuada de trozos de yuca por unidad de área. Aplicando la carga recomendada de trozos de yuca fresca (12.5 kg/m^2 de piso), la placa de 4 m^2 (2 x 2 m) debería recibir 50 kg; esta cantidad equivale, aproximadamente, a la capacidad de una carreta comúnmente usada en el proceso de secado. En términos sencillos, una carretada por placa es la carga óptima del área de secado.

Área para picar trozos

El área donde está instalada la máquina picadora debe ser suficiente para que los operarios se muevan con facilidad y para que la materia prima que se convertirá en trozos pueda colocarse bien. Un área de 16 m^2 (p. ej., 4 x 4 m) es adecuada para picar trozos en las plantas que tienen de 500 a 1000 m^2 de piso de secado.

Esta área debe tener techo que dé sombra a los operarios y evite el deterioro de la máquina picadora por la acción del sol y la lluvia. Es aconsejable construir, además, contiguo a esta área, un techo que cubra el sitio de recepción de las raíces, para que las proteja de la lluvia y del sol y evite así que su calidad se deteriore. Este techo adicional se puede construir con materiales típicos de la región (Figura 17).

El área de picar trozos debe estar cerca del lugar en que se recibe la yuca para evitar el movimiento innecesario de las raíces dentro de la planta. Se procura que el desnivel del piso de esta área sea opuesto al del área de secado para que el agua de lavado de la máquina picadora y el drenaje de las aguas lluvias no afecten los trozos de yuca que se estén secando (Figura 22-18).



Figura 17. Vista del techo que cubre la máquina picadora de trozos de yuca y del techo adicional que protegerá la yuca fresca recibida para su procesamiento.

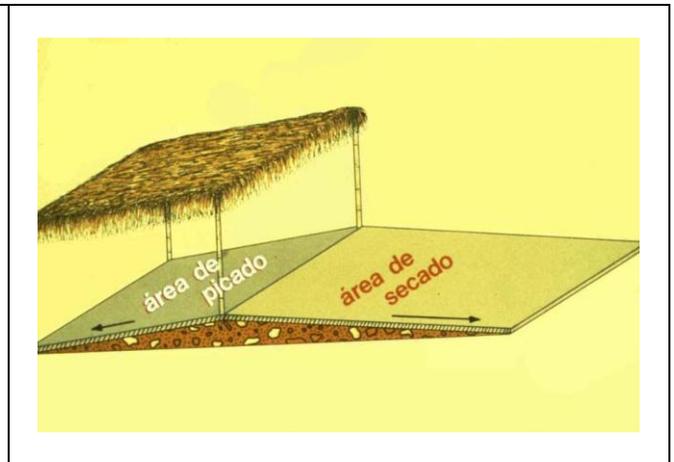


Figura 18. El desnivel del área en que se pican los trozos de yuca debe oponerse al desnivel del piso en que se secan los trozos (área de secado).

El área de picar trozos estará sometida a vibraciones y debe soportar un peso por unidad de área mayor que el del área de secado. Debe tener, por tanto, un piso resistente con cimientos fundidos o hechos de bloques de concreto. Se considera que los cimientos de 40 cm de profundidad y 40 cm de



ancho son adecuados, y que el piso debe tener 15 cm de espesor y debe fundirse en concreto de mezcla 1:3:5 (Figura 19).

El techo de esta área se construye con marco de madera y con láminas de zinc, tejas de asbesto-cemento o materiales típicos de la región (hojas de palma, entre otros).

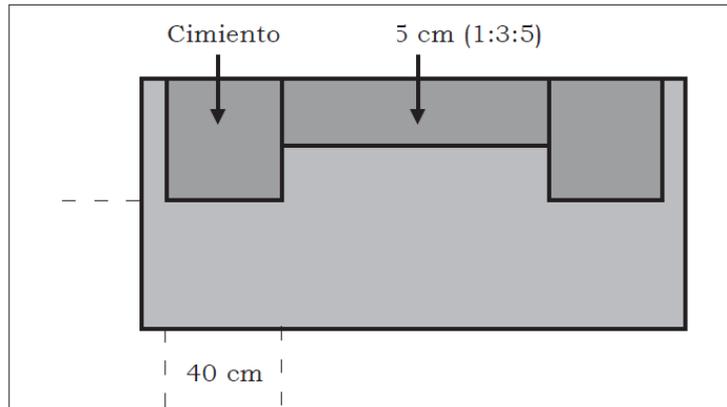


Figura 19. El área de picar trozos de yuca debe tener un piso resistente.

Bodega de almacenamiento

En esta bodega se guardan los trozos de yuca seca, las herramientas y el equipo utilizados en el proceso de secado. El tamaño de la bodega depende de la capacidad de la planta de secado, de la periodicidad de los despachos de yuca seca, y también de las futuras ampliaciones de la capacidad de secado.

En 1 m³ de bodega se pueden almacenar, aproximadamente, 350 kg de yuca seca. Una bodega de 140 m³ (10 x 4 x 3.5 m) puede almacenar alrededor de 30 t de yuca seca, o sea, la producción de un patio de secado de 1000 m² en 18 días.

Si se hacen despachos de yuca seca fuera de la planta cada 2 semanas, la bodega no tendrá problemas de congestión ni de aireación. Se recomienda dejar 1 m de espacio entre la superficie del arrume de yuca seca y el cielo raso de la bodega.

Los cimientos de la bodega deben tener de 30 a 50 cm de profundidad por 40 cm de espesor. Cuando las paredes son muy largas, es necesario construir columnas cada 3 ó 4 m de pared y un cimiento de 60 a 70 cm para cada columna (Figura 20).

La estructura básica de la bodega consta de los siguientes elementos:

- vigas de amarre en la parte inferior e inmediatamente encima de los cimientos, perfectamente unidas entre sí para dar un soporte más sólido a las paredes;
- columnas;
- paredes de ladrillo o de bloques de cemento; y vigas superiores de amarre, que sirven para unir sólidamente las columnas y como soporte de la estructura del techo (Figura 21).



Figura 20. Cimiento que sostiene las paredes externas de la bodega.

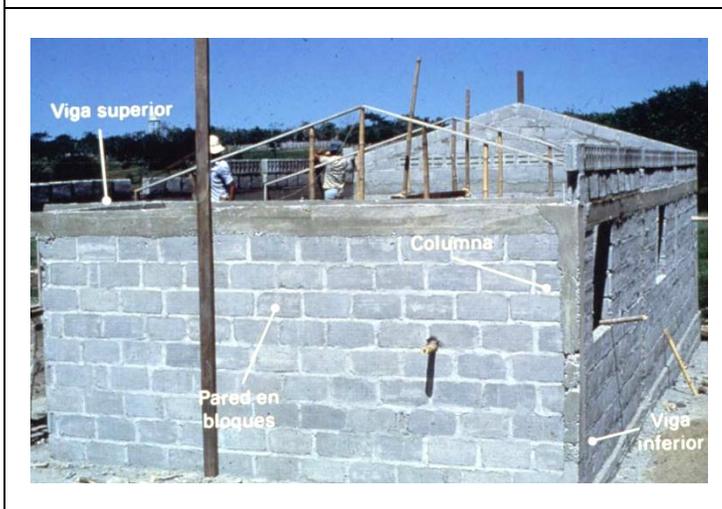


Figura 21. Elementos de la estructura básica de una bodega.

La bodega debe tener mecanismos para controlar la aireación o el cambio del aire. La apertura total de todas las puertas por corto tiempo es un buen recurso. Los ‘calados’ de cemento colocados a lo largo de la parte superior de las paredes (Figura 22) son un buen sistema de ventilación de la bodega, útiles cuando se hagan aplicaciones de insecticidas; no son recomendables, sin embargo, cuando el almacenamiento es de larga duración.

El techo se construye con vigas de madera que soportan tejas de asbesto-cemento o de zinc o de materiales típicos de la región; debe tener dos aguas y un desnivel adecuado. Antes de construir el piso de la bodega, se fragua una base de cemento que sirve como un piso inicial que ayuda a evitar que la humedad aflore a la superficie del piso real. Sobre esta base se funde una placa de concreto reforzado de poco espesor que es el piso final; se procura que quede tan lisa como sea posible. Es importante que los bultos de yuca seca no queden en contacto directo con el piso; por tanto, se deben instalar tarimas de madera o estibas que tengan de 10 a 15 cm de altura sobre el piso, en las cuales se colocarán los bultos.

Un andén alrededor de la bodega y un buen drenaje son estructuras externas de la bodega que impiden la acumulación del agua proveniente de las lluvias en el exterior de la bodega y la formación de áreas pantanosas.

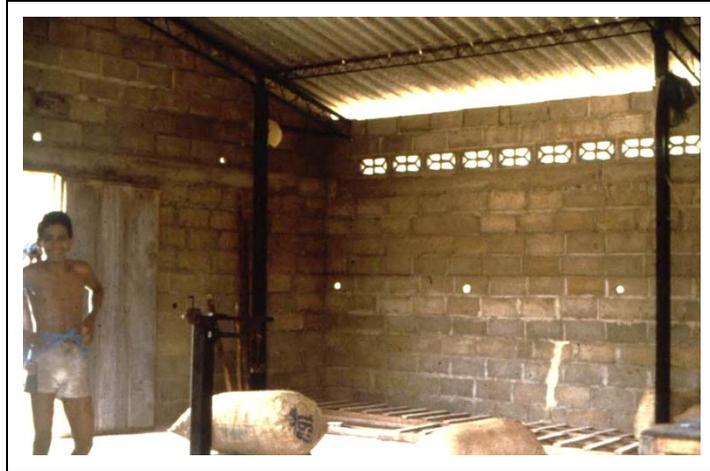


Figura 22. Paredes con calados de cemento a lo largo de su parte superior.

Equipo de una Planta de Secado

El equipo mínimo de una planta de secado consta de las siguientes máquinas: la báscula, la máquina picadora o trozadora, los implementos necesarios para el secado y la recolección de los trozos (carreta, rastrillos de madera, palas), los empaques, y la carpa o cubierta de plástico (para cubrir el patio).

Báscula

La báscula permita pesar varios bultos a la vez. Una capacidad de 500 kg es aceptable para las plantas de secado natural.

Máquina picadora

El modelo que se utiliza comúnmente se llama tipo Tailandia (Figura 23A; ver Figura 5). La máquina consiste, básicamente, en una estructura metálica y un disco trozador.

La primera soporta las poleas, el eje del disco y la tolva de alimentación. El soporte del motor también se acopla a la estructura principal de la máquina, como en el tipo Colombia 1 (Figura 23B).

La máquina puede ser movida por un motor eléctrico o uno de combustión interna (gasolina o ACPM). La potencia del motor de gasolina debe ser de 8 a 10 HP (Figura 24); la de un motor eléctrico puede ser de 5 HP. Este motor es el componente más importante del equipo de la planta porque cualquier falla en su funcionamiento altera el proceso normal de secado. Es necesario, por tanto, que los operarios estén debidamente capacitados para hacerlo funcionar y para darle un mantenimiento riguroso.

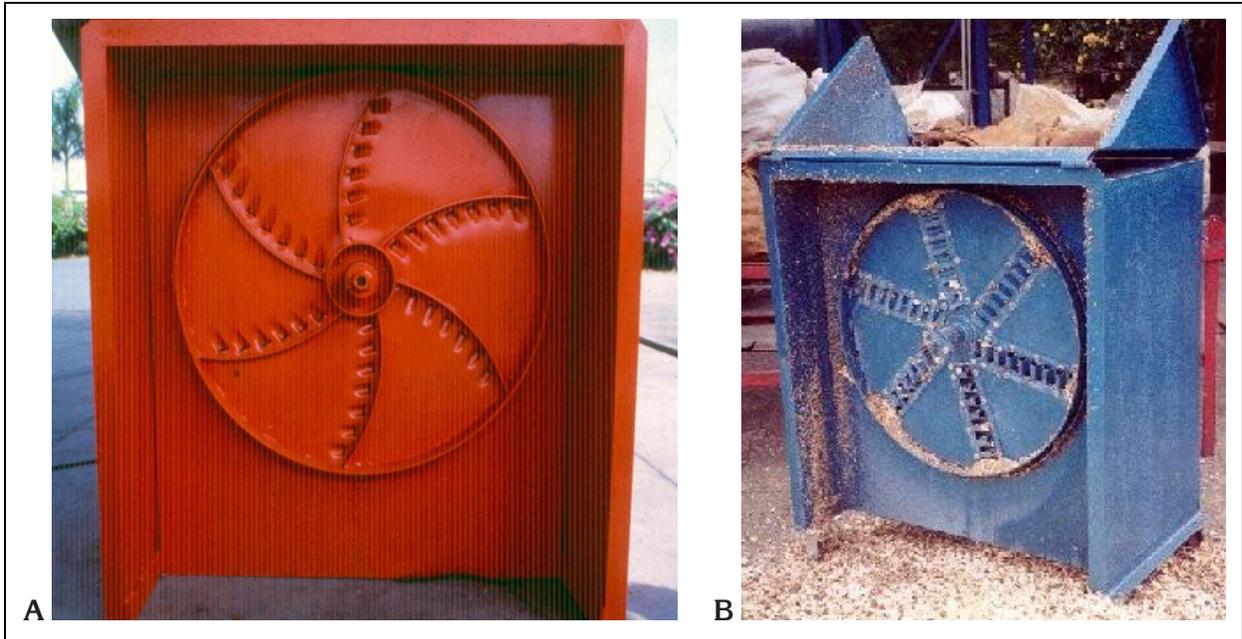


Figura 23. Máquinas picadoras de yuca tipo Tailandia (A) y tipo Colombia 1 (B).

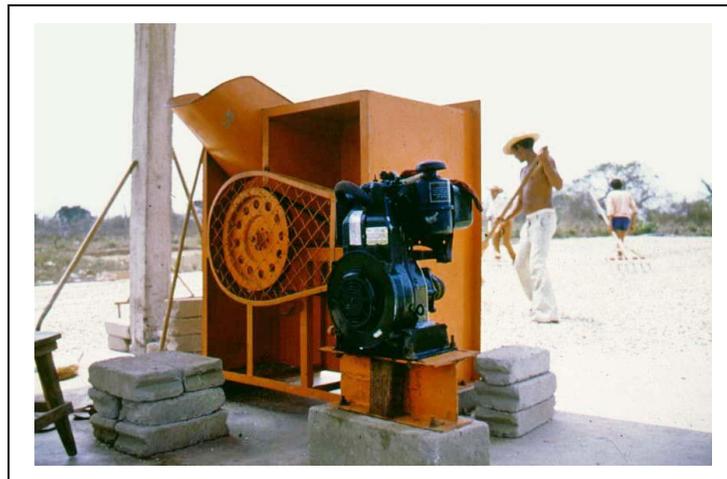


Figura 24. Un motor de combustión interna (gasolina) debe tener de 8 a 10 HP de potencia para accionar una picadora de yuca.

Implementos para secado y recolección

Se necesitan los siguientes implementos:

- Una **carreta** común con una capacidad de 50 kg, aproximadamente; se usa para distribuir los trozos de yuca en montones sobre el patio de secado (una carretada en cada área de 2 x 2 m).



- Varios **rastrillos** de madera para esparcir y voltear los trozos de yuca; su forma y sus dimensiones se indican en la Figura 25A.
- **Palas** de dos tipos para manejar la yuca seca: unas de madera con la parte ancha plana, rectangular y terminada en filo, que sirven para amontonar los trozos (Figura 25B); otras metálicas, comunes y corrientes, que sirven para recoger y empaclar los trozos.
- **Empaques** en cantidad suficiente, tanto para la compra de yuca fresca como para el almacenamiento y comercialización de los trozos secos. Los mejores son los de fique o yute, que tienen mayor capacidad y pueden usarse varias veces. Los empaques de polipropileno son de menor capacidad y duran menos, pero su costo es menor.
- Una **carpa de plástico** para proteger, en el patio de secado, los trozos de yuca de las lluvias imprevistas. También durante el invierno la carpa permite secar yuca, así sea a pequeña escala. Para una planta de 500 m², con piso de concreto, es suficiente una carpa plástica de 250 m².

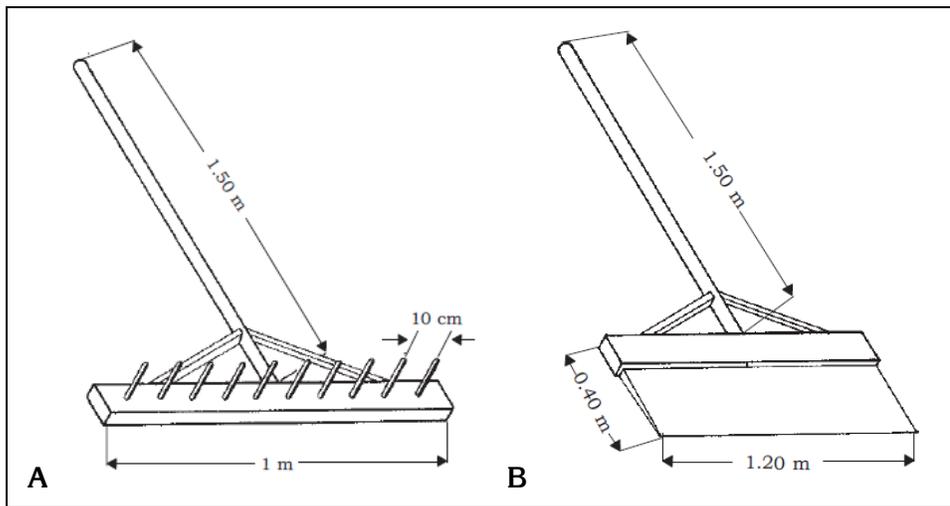


Figura 25. Implementos: (A) Rastrillo de madera para esparcir y voltear los trozos de yuca. (B) Pala de madera para amontonar los trozos secos.

Condiciones para Establecer la Planta de Secado Natural

Una planta de secado tendrá éxito si en su manejo las etapas de producción, procesamiento y comercialización se han integrado y están bien coordinadas. Es indispensable, por tanto, disponer de datos reales sobre cada una de estas etapas cuando se debe hacer un análisis de factibilidad económica antes del montaje de una planta. Los siguientes aspectos se consideran en dicho análisis:

1. Producción de yuca fresca en el área de influencia de la planta.
2. Tamaño de la planta y su capacidad de procesamiento de trozos secos.
3. Administración acertada y operación organizada de la planta.
4. Financiación requerida.
5. Mercadeo de la yuca seca.



1. Producción de yuca en el área de influencia

La producción oportuna de raíces frescas de yuca, materia prima de las plantas de secado, es un factor muy importante en el análisis previo a la instalación de una de tales plantas.

Se dispone, generalmente, de raíces para el procesamiento cuando hay excedentes en el mercado de yuca para el consumo fresco; este último es, en muchos lugares, el principal y casi exclusivo canal de comercialización de la yuca. Habrá, por tanto, una oferta discontinua y estacional de materia prima. Para que la oferta sea continua y suficiente, es necesario elevar considerablemente la productividad del cultivo de yuca; así se reducirían los costos de producción, se haría competitivo el precio de la raíz y sería más rentable la agroindustria del secado.

La organización de los agricultores de la región en cooperativas o grupos asociativos que producen y procesan raíces de yuca, con asistencia técnica y crédito suministrados por entidades oficiales, es una buena iniciativa para asegurar la disponibilidad de raíces en la planta de secado. Es necesario, por tanto, que dichas agrupaciones incorporen agricultores capaces de obtener una buena producción de yuca; de lo contrario, la planta dependería de la oferta de materia prima que harían otros productores fuera de ella, lo que la haría dependiente y vulnerable como empresa.

Por tal razón, el perfil socioeconómico de los posibles propietarios de una planta de secado de yuca es, quizás, el factor más importante en el establecimiento de dicha planta y en la definición de su tamaño.

En la costa norte de Colombia, las empresas de secado de yuca están constituidas por agricultores de muy poca capacidad de producción de yuca que tienen, por ello, dificultades para lograr un nivel aceptable de rentabilidad. Es muy importante, por tanto, que cuando una cooperativa o asociación se organiza para operar una planta de secado, establezca un proceso adecuado de selección de sus miembros y asegure el suministro de materia prima necesario para que la planta opere eficientemente.

2. Tamaño y capacidad de la planta

Tamaño de la planta. Los estudios de factibilidad y la experiencia obtenida hasta el presente indican que el área mínima de secado de yuca, para que la actividad sea rentable, es de 500 m². Hasta el presente han funcionado, con buenos resultados, plantas de 1000 y hasta de 2000 m² de piso de secado. Conviene entonces iniciar la actividad con el área mínima rentable (500 m²) y ampliar más tarde esta área cuando los agricultores dominen completamente la técnica del secado.

Para conocer el tamaño de la futura planta, hay que calcular la producción de yuca de la zona y el perfil socioeconómico de los posibles propietarios; este cálculo indicará la probabilidad de obtener suficiente materia prima y de mantener la empresa estable.

La cantidad de yuca que una planta puede secar depende de tres factores: el tamaño del área de secado, la duración de la época de verano, y la carga de trozos yuca que se secan por m².

Duración de la época seca. El secado natural de yuca se basa en el uso de la energía solar; hay que conocer, por tanto, los meses de verano de la región donde se establecerá una planta. En la costa norte de Colombia, por ejemplo, los meses de la época seca principal son diciembre, enero, febrero, marzo y parte de abril; en julio, agosto y septiembre, en el segundo semestre se presenta un veranillo



que permite el secado de yuca. En total, en la región se cuenta con unas 20 semanas hábiles para el secado.

Carga de yuca fresca por m². Se determina ahora la carga óptima de secado por m² de superficie (kg de trozos/m² de piso) para 2 días; el cálculo se hace para 2 días porque en este tiempo se aprovecha más eficientemente la planta y se secan tres tandas de yuca por semana. Por ejemplo, en la costa norte de Colombia la carga óptima es de 12.5 kg/m². En los días de poca radiación solar de la época de transición climática, se emplean cargas menores.

Determinación de la capacidad de la planta. La capacidad de procesamiento de una planta se calcula empleando los tres parámetros anteriores: tamaño de la planta, duración del verano y carga de yuca fresca, como se ilustra en la Tabla 3.

Tabla 3. Valor de los parámetros que determinan la capacidad de procesamiento de yuca seca en la costa norte de Colombia en 2000.

Parámetro	Valor
Duración de la época seca	20 semanas
Carga de yuca fresca	12 kg/m ²
Tiempo de secado por tanda	2 días
Tandas por semana	3
Area de secado	500 m ²

Cantidad de yuca fresca que puede secarse por año. La capacidad anual de secado por m² de patio sería:

$$12 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{tanda} \times 3 \text{ tandas/semana} \\ \times 20 \text{ semanas/año} = 720 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{año}$$

Por tanto, en los 500 m² de piso se podrían secar anualmente 360,000 kg, o sea, 360 t de yuca fresca.

Determinación del factor de conversión (fc). La cantidad de yuca seca que puede obtenerse de un lote de yuca fresca se conoce determinando primero un factor de conversión para la variedad de yuca que se cosechó; para calcularlo debe conocerse el contenido de humedad de la yuca tanto al comienzo como al final del proceso de secado.

El fc es un parámetro relacionado directamente con la cantidad de M.S. de la yuca que se procesa. Cuando las raíces han sido atacadas por una enfermedad o una plaga (p. ej., el gusano cachón), su contenido de M.S. al momento de la cosecha puede ser muy bajo y por ello el fc sería muy alto. Las condiciones del clima (p. ej., lluvias durante la cosecha) pueden afectar también el contenido de M.S. de la variedad y su fc. Otro factor que incide en el fc es el manejo de la tecnología de secado por los agricultores; por ejemplo, si secan demasiado la yuca (o sea, hasta menos del 12%), el fc se eleva.



Un ejemplo de cálculo del fc es: se toman 1000 kg de trozos de yuca fresca, recién cosechada, cuyo contenido de humedad es 65%; se secan en un patio y se obtienen 398 kg de trozos de yuca seca cuyo contenido de humedad final es 12%. El fc es, por tanto:

$$fc = 1000/398 = 2.5$$

Nótese que la M.S. debe conservarse constante. En los 1000 kg de raíces que tenían 65% de humedad hay 650 kg de agua y 350 kg de M.S.; al secarse los trozos de raíces se elimina gran parte del agua, pero la M.S. se conserva. Por tanto, en los 398 kg de yuca seca al final del proceso deben estar los 350 kg de M.S.; el resto, 48 kg, es la cantidad de agua que contiene la yuca y que representa un 12% de la humedad final.

Cálculo de producción de yuca seca. El fc permite calcular la cantidad de yuca seca que la planta puede producir al año. Si suponemos que el fc es 2.5:1, las 360 t de yuca fresca (YF) que procesa en 1 año una planta de 500 m² rendirán 144 t de yuca seca (YS):

$$\frac{360 \text{ t YF} \times 1 \text{ t YS}}{2.5 \text{ t YF}} = 144 \text{ t de YS}$$

La Tabla 4 muestra las cantidades de yuca fresca que se pueden procesar y la yuca seca que se obtiene de ellas en plantas de diferente área y en diferentes períodos de secado.

Tabla 4. Cantidad de yuca seca que puede obtenerse en plantas de diferente tamaño (área de secado) y con períodos de verano de diferente duración.

Área de secado (m ²)	Tiempo seco (semanas/año)	Capacidad de procesamiento por año		Producción requerida (ha/año) ^b
		Yuca fresca (t)	Yuca seca (t) ^a	
500	12	216	87	27
	16	288	115	36
	20	360	144	45
1000	12	432	174	54
	16	576	230	72
	20	720	288	90
2000	12	864	348	108
	16	1152	460	144
	20	1440	576	180

a. Para un fc de 2.5:1 (se obtiene 1 t de yuca seca por 2.5 t de yuca fresca procesada).

b. Área calculada, suponiendo que la variedad de yuca rinde 8 t/ha de yuca fresca.

3. Administración acertada y operación organizada

Una planta de secado natural de yuca funciona correctamente si el grupo de agricultores propietarios de la planta está bien organizado. Debe tener, por tanto, un gerente o administrador, un tesorero y un jefe de producción.



- El **gerente** o administrador es el responsable del funcionamiento general de la empresa. Coordina todas las actividades de la planta y los servicios de asistencia técnica y es el representante legal de la empresa. El gerente deber ser, por tanto, una persona dinámica que es respetada por el resto de los agricultores.
- El **jefe de producción** tiene la responsabilidad de organizar los grupos de trabajo (grupos de socios o personal contratado), de garantizar el suministro oportuno de la materia prima, y de verificar el resultado del control de calidad del producto final.
- El **tesorero** es el encargado de hacer los pagos y los cobros necesarios. Junto con el gerente, el tesorero es responsable de establecer un sistema contable que permita a los socios conocer los resultados de la gestión empresarial.

Estos tres cargos (gerente, jefe de producción y tesorero) implican un costo administrativo para la planta de secado, pero garantizan su buen funcionamiento.

Las plantas de secado natural de yuca requieren, además, cierta cantidad de mano de obra. Cada empresa organiza su fuerza laboral según sus condiciones. En ocasiones, los socios o sus familiares trabajan en la planta pero, en general, ésta se convierte en fuente de empleo para una zona rural, especialmente en las épocas en que la oferta de trabajo es allí escasa.

La Tabla 5 presenta un ejemplo de la mano de obra que se necesita para las distintas operaciones de una planta de secado. Nótese que las 48 horas-hombre requeridas para procesar las 6 t de yuca fresca representan un jornal (8 horas-hombre) por cada tonelada que se procesa.

Tabla 5. Mano de obra necesaria para secar un lote de 6 t de yuca fresca.

Labores	Operarios (no.)	Horas (no.)	Horas-hombre (total)
Pesar y trozar las raíces	4	3	12
Esparcir los trozos de yuca	3	3	9
Volteo de trozos (mezcla)	3	3	9
Recolección, empaque y almacenamiento	6	3	18
Total			48

4. Financiación requerida

Para construir y poner en funcionamiento una planta de secado, hay que hacer inversiones en tres áreas bien definidas:

- la construcción de la planta,
- el capital para el funcionamiento de la planta, y
- la producción de la materia prima.



Construcción y dotación de la planta. Los costos de construcción de una planta de secado son específicos de cada región o país y dependen de la disponibilidad y del precio de los materiales. Las cifras de la Tabla 6 indican que una planta de 500 m², en la costa atlántica de Colombia, necesita una inversión inicial de US\$15,680, aproximadamente; esta información fue recibida, en enero de 2001, de la Federación Nacional de Productores, Procesadores y Comercializadores de Yuca (FEDEYUCA).

Funcionamiento de la planta. La planta necesita un capital de trabajo para pagar la mano de obra, la materia prima, los empaques, los fletes y los costos administrativos, principalmente. El capital de trabajo debe estar disponible al comenzar el período de procesamiento de la planta. En la Tabla 7 se desglosan los rubros que componen el capital de trabajo con que opera una planta durante 15 días (información recibida de FEDEYUCA).

Tabla 6. Inversión que requiere una planta de secado natural de yuca que tiene un piso de concreto de 500 m².

Obra, herramienta o elemento	Cantidad	Valor unitario (US\$/m ²)	Total ítem (US\$) ^a	Total por rubro (US\$)
Instalaciones				11,500
Piso de concreto (m ²)	500	15	7500	
Bodega (m ²)	40	70	2800	
Malla de alambre (rollos de 1 m ancho)	100	2	200	
Cobertizo para la picadora (m ²)	25	40	1000	
Equipos				2,000
Máquina trozadora	1	900	900	
Motores eléctricos de 5 HP	2	350	700	
Báscula de 500 kg de capacidad	1	400	400	
Herramientas				380
Carretillas	4	30	120	
Palas metálicas	6	10	60	
Rastrillos de madera	10	10	100	
Recogedores de madera	10	10	100	
Otros				375
Empaques de polipropileno	300	0.25	75	
Carpa plástica (10 x 50 m, calibre 6)	1	300	300	
Subtotal				14,255
Imprevistos, 10%				1,425
Capital de trabajo ^b				3,940
Total, inversión (US\$)				19,620



Tabla 7. Capital de trabajo empleado en 30 días de operación en una planta de secado de 500 m² de patio, con una carga de 12 kg/m² y 12 tandas o procesos.

Rubro o insumo	Cantidad	Valor unitario (Col\$)	Valor rubro (Col\$)
Yuca fresca (t)	72	80,000	5,760,000
Jornales (unidades)	80	15,000	1,200,000
Empaques (unidades)	700	500	350,000
Flete (t, yuca seca)	30	45,000	1,350,000
Total (Col\$)			8,660,000
Total (US\$) ^a			3,940

a. US\$1 = Col\$2200 (enero 2001).

Producción de la materia prima. En la mayoría de los casos, no existe una línea de crédito para financiar cultivos de yuca, pero es importante conseguirla. Ahora bien, el crédito debe ser oportuno y suficiente y debe preferirse el de tipo asociativo, es decir, que permita que todos los socios de la empresa produzcan yuca y garanticen así un suministro adecuado de la materia prima.

Los agricultores pueden acudir a entidades estatales o a cooperativas en busca de financiación. Para la construcción de la planta se deben preferir líneas de crédito a largo plazo y con intereses de fomento, ya que el período inicial de operación de la planta (1 a 2 años) en que los agricultores se adaptan a la nueva alternativa agroindustrial, es crítico. Asimismo, los agricultores deben gozar de apoyo institucional permanente y duradero, que garantice su capacitación adecuada en los aspectos técnicos y contables, tan necesarios para el buen funcionamiento de la empresa.

5. Mercadeo de la yuca seca

El mercado principal de la yuca seca está en las industrias procesadoras de alimentos concentrados para animales, especialmente para aves y cerdos.

Gran parte de los países productores de yuca de América Latina son importadores de cereales para la fabricación de dichos alimentos; por tanto, es posible que empleen trozos de yuca seca como sustituto de los granos importados. El factor que más influye en esta sustitución es el precio de la yuca seca en relación con el de los cereales (como el maíz y el sorgo) que se usan en la preparación de dichos alimentos. Actualmente, el precio de la yuca seca es el 70% u 80% del precio de los granos mencionados. El precio de la yuca seca depende del costo del procesamiento y, principalmente, del costo de la materia prima (Tabla 8). El siguiente costo en importancia es el de la mano de obra cerca del 10% de los costos totales.



Tabla 8. Estructura de los costos de operación de una planta de secado de yuca cuyo patio de secado tiene 500 m².

Costos (concepto o rubro)	Valor (Col\$)
Costos fijos	
Administración	3,000
Subtotal	3,000
Costos variables	
Materia prima ^a	200,000
Mano de obra ^b	24,000
Alquiler del patio	5,000
Gastos ^c	3,000
Imprevistos	
Subtotal	232,000
Gastos de comercialización	
Empaques ^d	8,000
Flete ^e	45,000
Subtotal	53,000
Total	288,000

a. 2.5 t de yuca fresca a \$80.000/t.

b. Se toman 2 jornales/t de yuca seca (\$1200/jornal).

c. Empaques de fique (cabuya), hilo, etc.

d. 20 empaques limpios de cabuya con capacidad de 50 kilos cada uno.

e. Transporte desde la planta de secado hasta el comprador (planta de concentrados) a 150 km de distancia.

Por consiguiente, es indispensable dedicar todo el esfuerzo posible a aumentar la productividad del cultivo, es decir, plantando variedades rendidoras y desarrollando mejores prácticas agronómicas que permitan reducir el costo de las raíces. Si se mantienen los costos en un nivel adecuado, es posible comercializar la yuca con un margen adecuado de ganancias (Tabla 9).

Tabla 9. Cálculo del ingreso neto por tonelada de yuca seca producida en el ejemplo anterior.

Concepto	Valor (Col\$)
Costos	
Procesamiento de la yuca	40,750
Flete ^a	45,000
Materia prima (yuca fresca)	200,000
Total	285,700
Precio de venta ^b	300,000
Utilidad neta	14,250

a. Transporte de Sincelejo a Medellín.

b. Producto puesto en Medellín.





2. DETERMINACIÓN DE MATERIA SECA DE LAS RAÍCES FRESCAS POR EL MÉTODO DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Julio César Toro* y Alonso Cañas**

El porcentaje de materia seca (M.S.,%) y el contenido de almidón de las raíces de yuca se denominan comúnmente factores de calidad y varían mucho entre las diversas variedades de yuca. Se ha observado que estos factores están muy ligados con el contenido de potasio del suelo, con la edad del cultivo y con el clima (principalmente, las lluvias y la humedad del suelo). Dependen también mucho de la severidad del ataque de las plagas defoliadoras (trips, gusano cachón) y de otros agentes defoliadores, como el granizo (Celis y Cadavid L, comunicación personal).

Si se desea calcular, al momento de la cosecha, el rendimiento de M.S. de las raíces a partir del rendimiento de raíces frescas (RRF), se emplean los métodos siguientes:

- Métodos convencionales de **laboratorio** que requieren mucho trabajo y tiempo.
- Un **hidrómetro** similar al que se emplea en los tubérculos de papa; al parecer, puede adaptarse a las raíces de yuca (Guillermo Gómez, comunicación personal).
- Método de la **gravedad específica** de las raíces, aplicado desde que se comprobó una relación entre ese parámetro y los contenidos de M.S. y de almidón de la raíz.

La determinación de la gravedad específica (GE) es bastante sencilla; por tanto, esta práctica es útil y está al alcance del agricultor en su finca o de una empresa procesadora de yuca que produzca harina o almidón.

Elementos para Determinar la GE

El método requiere los siguientes elementos:

- Una balanza de brazo que pese hasta 3 kg, de gramo en gramo, y que tenga divisiones en decigramos.
- Un recipiente que pueda contener suficiente agua para que la muestra quede sumergida.
- Una canastilla de malla metálica, de base cuadrada y con capacidad para cargar 3 kg de raíces de yuca.
- Varias bolsas (plásticas o de papel) que puedan contener 3 kg de yuca.
- Hilo o cuerda de material plástico o nylon (2 m).
- Un gancho de alambre en forma de S.
- Una tabla (a modo de mesa) para colocar la balanza, con una perforación (\emptyset 5 cm) justo debajo del plato de pesaje de la balanza; sus dimensiones pueden ser 25 x 60 cm.
- Un marco para la tabla, con cuatro patas. El lado corto puede ser de 50 cm y el de más longitud de 73 cm.
- Un lápiz o un marcador de tinta permanente.
- Un machete o una espátula de madera.

* Ph.D., Fitomejoramiento y Producción. Anteriormente, Jefe de Agronomía y Cooperación Internacional, Programa de Yuca, CIAT. Investigador en frutales, Cali, Colombia. E-mail: frutillartor@telesat.com.co

** Tecnólogo Agropecuario. Medellín, Colombia.



Operaciones del Método de GE

Toma de las muestras

Se recomienda tomar muestras de raíces recién cosechadas en el campo. Se toman 3 ó 4 muestras por variedad o lote, cuidando de que sean representativas, es decir, que incluyan raíces grandes y pequeñas, gruesas y delgadas.

Cada muestra debe pesar más de 3 kg. Las raíces se limpian con el lomo de un machete o con una espátula de madera y se les cortan las raicillas y el pedúnculo. Se empaican luego en bolsas previamente marcadas y se llevan al sitio donde se harán las mediciones. Este sitio debe estar libre de corrientes de aire, ya que éstas afectan la lectura de la balanza.

Peso fresco de raíces en el aire (PFRAi)

Se pesa la muestra de cada bolsa en forma individual. Es aconsejable que el PFRAi sea similar en todas las muestras, procurando que no sea inferior a 3.0 kg (Figura 26A). Esta relativa uniformidad del peso ayuda a corregir una lectura errónea posible, ya que si se observa gran dispersión en el registro, se repite el pesaje de la muestra para verificar su peso inmediatamente. Si el peso de las muestras no es variable, no será necesaria esta repetición. Una vez obtenido el PFRAi, se empaica nuevamente la muestra en su bolsa. No es necesario que las raíces de cada muestra estén enteras.

Peso fresco de raíces en el agua (PFRAg)

En un recipiente lleno de agua se introduce la canastilla de malla metálica atada a la cuerda de nylon, de modo que quede bien equilibrada. El otro extremo de la cuerda se ata al gancho y éste, a su vez, se cuelga (por su rizo superior) del extremo inferior del eje de la balanza que ha pasado hacia abajo por la perforación de la tabla (Figura 26B). La canastilla debe quedar totalmente sumergida y ni ésta ni la cuerda pueden rozar ningún objeto.

Realizada esta operación, se tara la balanza en cero (para eliminar el peso de los elementos mencionados) y se coloca luego la muestra de raíces en la canastilla (Figura 26C). Una vista general del equipo en la operación del peso en agua se aprecia en la Figura 26D). El PFRAg se anota al frente de su respectivo PFRAi. Una vez obtenido el peso de todas las muestras, se calcula la GE en cada caso empleando la siguiente fórmula:

$$GEY = \frac{PFRAi}{PFRAi - PFRAg} \quad (1)$$

El resultado debe tener 4 cifras decimales. La Tabla 10 se elaboró (Wania G. Fukuda, en Toro y Cañas, 1983) para obtener el porcentaje de M.S. de la raíz de yuca partiendo de su gravedad específica (densidad, en la tabla); la tabla original fue ampliada posteriormente con nuevas entradas y va desde el valor 1.0200 hasta el 1.1900 de densidad. La siguiente ecuación de regresión permitió desarrollar la Tabla 10.

$$M.S.,\% = 158.26 (GE) - 142.05 \quad (2)$$

Estas tablas se aplican a variedades de yuca cosechadas después de 10 a 12 meses de plantadas, en las condiciones normales de producción de yuca en Colombia (CIAT, 1978).

La Tabla 10 se usó para elaborar otra más resumida (Tabla 11), que permite hallar los valores de M.S. (%) de la raíz más usuales (entre 20% y 46%) conociendo sólo el PFRAg correspondiente; éste se expresa en gramos y lleva sólo una cifra decimal. Se toma un PFRAi de 3.0 kg porque permite resumir la tabla y da más seguridad en la lectura del PFRAg. Se ha comprobado, en efecto, que una variación de 16.7 g en el PFRAg hace variar en 1% el contenido de M.S. (Cours, 1951).

La determinación del contenido de M.S. (%) de las raíces de yuca mediante el método de la GE es una práctica que puede adoptarse fácilmente y que resulta muy útil para identificar variedades de yuca que tengan mayor contenido de M.S.

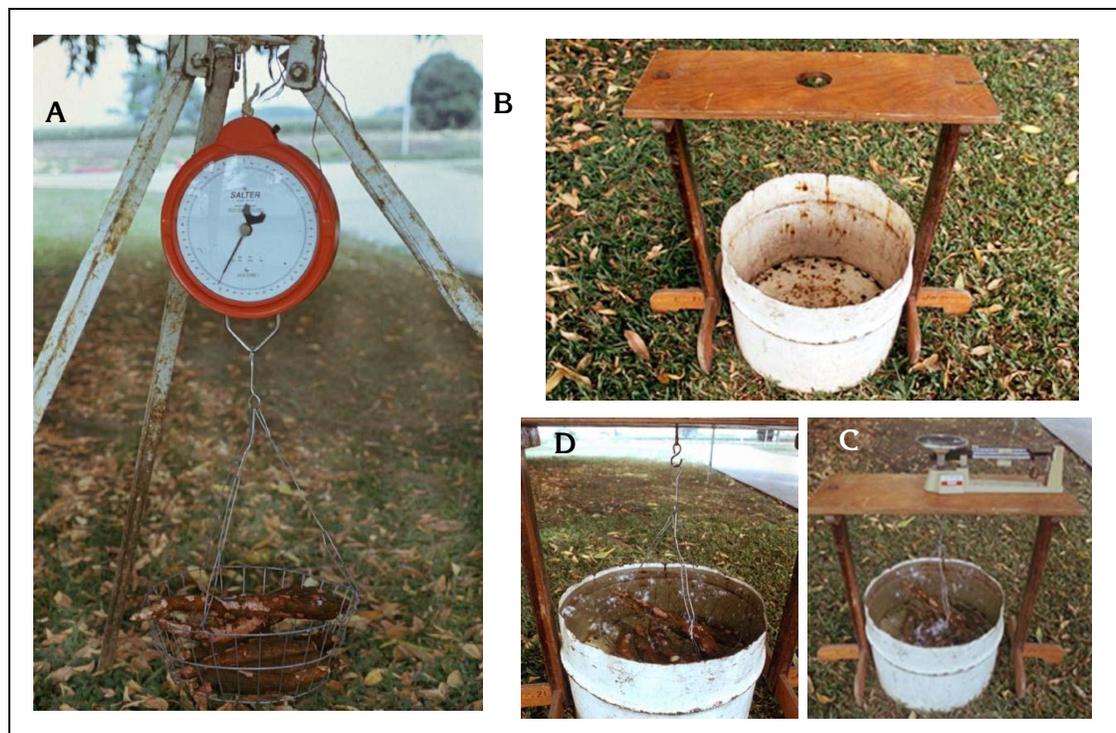


Figura 26. Procedimiento para medir el peso en el aire (PFRAi) y el peso en agua (PFRAg) de la yuca. Con esos datos se calcula la gravedad específica y se obtiene luego en una tabla el porcentaje de MS de las raíces de la muestra empleada. (A) Balanza peso en aire. (B) Tabla, orificio, soporte y recipiente para el agua. (C) Balanza, cuerda, gancho y canastilla con yucas. (D) Vista general del equipo tomando el peso en agua.



Tabla 10. Determinación del contenido de materia seca (M.S.,%) en las raíces de yuca empleando el método de la gravedad específica (densidad).

Densidad (GE)	M.S. (%)	Densidad (GE)	M.S. (%)	Densidad (GE)	M.S. (%)
1.0200	19.53	1.0255	20.39	1.0310	21.25
05	19.61	60	20.47	15	21.33
10	19.69	65	20.54	20	21.40
15	19.76	70	20.62	25	21.48
20	19.84	75	20.70	30	21.56
25	19.92	80	20.78	35	21.64
30	20.00	85	20.86	40	21.72
35	20.08	90	20.93	45	21.79
40	20.15	95	21.01	50	21.87
45	20.23	1.0300	21.09	55	21.95
50	20.31	05	21.17	60	22.03
1.0365	22.11	1.0595	25.70	1.0820	29.22
70	22.18	1.0600	25.78	25	29.30
75	22.26	05	25.86	30	29.37
80	22.34	10	25.93	35	29.45
85	22.42	15	26.01	40	29.53
90	22.50	20	26.09	45	29.61
95	22.57	25	26.17	50	29.69
1.0400	22.65	30	26.25	55	29.77
05	22.73	35	26.32	60	29.84
10	22.81	40	26.40	65	29.92
15	22.89	45	26.48	70	30.00
20	22.97	50	26.56	75	30.08
25	23.04	55	26.64	80	30.16
30	23.12	60	26.71	85	30.23
35	23.20	65	26.79	90	30.31
40	23.28	70	26.87	95	30.39
45	23.36	75	26.95	1.0900	30.47
50	23.43	80	27.03	05	30.55
55	23.51	85	27.10	10	30.62
60	23.59	90	27.18	15	30.70
65	23.67	95	27.26	20	30.78
70	23.75	1.0700	27.34	25	30.86
75	23.82	05	27.42	30	30.94
80	23.90	10	27.50	35	31.01
85	23.98	15	27.57	40	31.09
90	24.06	20	27.65	45	31.17
95	24.14	25	27.73	50	31.25
1.0500	24.22	30	27.81	55	31.33
05	24.29	35	27.89	60	31.41
10	24.37	40	27.96	65	31.48
15	24.45	45	28.04	70	31.56
20	24.53	50	28.12	75	31.64
25	24.61	55	28.20	80	31.72
30	24.68	60	28.28	85	31.80
35	24.76	65	28.35	90	31.87
40	24.84	70	28.43	95	31.95
45	24.92	75	28.51	1.1000	32.03

Tabla 10. Continuación.

Densidad (GE)	M.S. (%)	Densidad (GE)	M.S. (%)	Densidad (GE)	M.S. (%)
50	25.00	80	28.59	05	32.11
55	25.07	85	28.67	10	32.19
60	25.15	90	28.74	15	32.26
65	25.23	95	28.82	20	32.34
70	25.31	1.0800	28.90	25	32.42
75	25.39	05	28.98	30	32.50
80	25.46	10	29.06	35	32.58
85	25.54	15	29.14	40	32.65
90	25.62	1.1280	36.40	45	32.73
1.1050	32.81	85	36.48	1.1510	39.99
55	32.89	90	36.55	15	40.07
60	32.97	95	36.63	20	40.15
65	33.05	1.1300	36.71	25	40.23
70	33.12	05	36.79	30	40.30
75	33.20	10	36.87	35	40.38
80	33.28	15	36.95	40	40.46
85	33.36	20	37.02	45	40.54
90	33.44	25	37.10	50	40.62
95	33.51	30	37.18	55	40.69
1.1100	33.59	35	37.26	60	40.77
05	33.67	40	37.34	65	40.85
10	33.75	45	37.41	70	40.93
15	33.83	50	37.49	75	41.01
20	33.90	55	37.57	80	41.08
25	33.98	60	37.65	85	41.16
30	34.06	65	37.73	90	41.24
35	34.14	70	37.80	95	41.32
40	34.22	75	37.88	1.1600	41.40
45	34.29	80	37.96	05	41.48
50	34.37	85	38.04	10	41.55
55	34.45	90	38.12	15	41.63
60	34.53	95	38.19	20	41.71
65	34.61	1.1400	38.27	25	41.79
70	34.69	05	38.35	30	41.87
75	34.76	10	38.43	35	41.94
80	34.84	15	38.51	40	42.02
85	34.92	20	38.59	45	42.10
90	35.00	25	38.66	50	42.18
95	35.08	30	38.74	55	42.26
1.1200	35.15	35	38.82	60	42.33
05	35.23	40	38.90	65	42.41
10	35.31	45	38.98	70	42.49
15	35.39	50	39.05	75	42.57
20	35.46	55	39.13	80	42.65
25	35.54	60	39.21	85	42.72
30	35.62	65	39.29	90	42.80
35	35.70	70	39.37	95	42.88
40	35.77	75	39.44	1.1700	42.96
45	33.85	80	39.52	05	43.04



Tabla 10. Continuación.

Densidad (GE)	M.S. (%)	Densidad (GE)	M.S. (%)	Densidad (GE)	M.S. (%)
50	35.93	85	39.60	10	43.12
55	36.01	90	39.68	15	43.19
60	36.09	95	39.76	20	43.27
65	36.16	1.1500	39.84	25	43.35
70	36.24	05	39.91	30	43.43
75	36.32	1.1795	44.45	35	43.51
1.1740	43.59	1.1800	44.52	1.1850	45.30
45	43.66	05	44.60	55	45.38
50	43.74	10	44.68	60	45.46
55	43.82	15	44.76	65	45.54
60	43.90	20	44.83	70	45.61
65	43.98	25	44.91	75	45.69
70	44.06	30	44.99	80	45.77
75	44.13	35	45.07	85	45.85
80	44.21	40	45.15	90	45.93
85	44.29	45	45.22	95	46.00
90	44.37			1.1900	46.08

FUENTE: CIAT, 1978.

Tabla 11. Cálculo del contenido de materia seca (M.S., %) de las raíces de yuca partiendo solamente del peso en agua de la muestra de raíces (PFRAg)^a.

PFRAg	M.S. (%)	PFRAg	M.S. (%)
58.8	20	296.0	34
77.4	21	311.8	35
95.8	22	327.4	36
112.6	23	342.8	37
130.6	24	359.0	38
148.3	25	371.9	39
165.8	26	386.7	40
183.1	27	401.5	41
198.9	28	416.0	42
215.8	29	430.4	43
232.5	30	443.5	44
248.9	31	457.6	45
265.2	32	471.5	46
280.1	33	—	—

a. Se supone un peso en aire de cada muestra (PFRAi) igual a 3000 g. Se aplica indirectamente el método de la gravedad específica.

FUENTE: CIAT, 1979.



3. SECADO DE TROZOS DE YUCA EN BANDEJAS INCLINADAS

Lisímaco Alonso*, Bernardo Ospina** y Rupert Best***

Bandejas

Este método de secado aprovecha al máximo la capacidad de secado del viento haciéndolo circular a través de los trozos de yuca colocados sobre las bandejas. Las bandejas tienen como estructura un marco de madera y como base una malla de anejo plástico que evita la pérdida del material durante el proceso.

Materiales

Se fortalece el anejo plástico añadiéndole una malla de gallinero en alambre con agujeros de una pulgada de diámetro (Figura 27A). Las dimensiones que muestran la figura permiten que la bandeja sea manejada por dos operarios; sin embargo, el tamaño de la bandeja puede variar según el material de yuca disponible en la región.

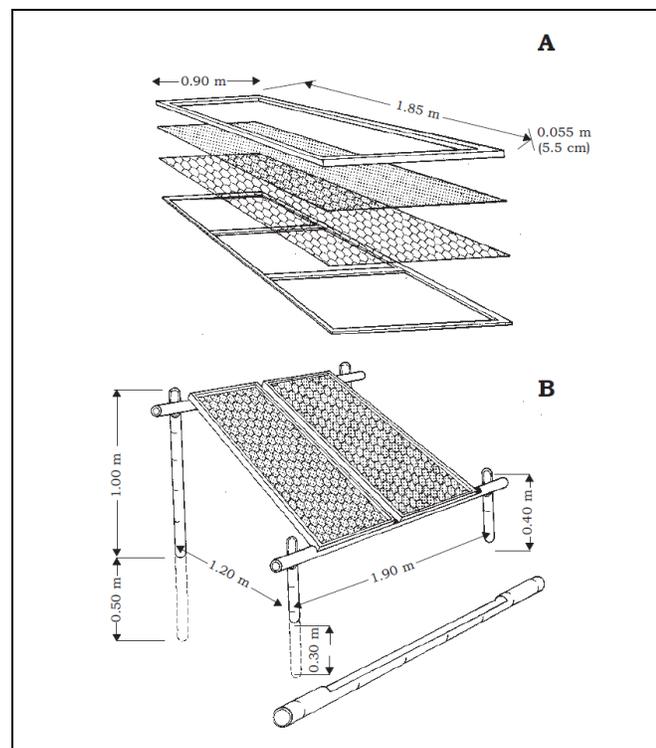


Figura 27. (A) Bandeja con sus dimensiones. (B) Colocación de la bandeja sobre sus soportes de guadua o bambú. FUENTE: Best, 1979.

* Ingeniero Agrícola, Programa de Yuca, CIAT, Cali, Colombia. E-mail: l.alonso@cgiar.org

** M.Sc., Desarrollo Agrícola Internacional, Director Ejecutivo de la Corporación CLAYUCA, Cali, Colombia.

E-mail: b.ospina@clayuca.org

*** Ph.D., Ingeniero Químico, Consultor. E-mail: rupertbest@gmail.com



Nótese que la sustitución de un anjeo plástico de 35 perforaciones por cm^2 , por otro con aberturas más grandes, daría como resultado mayores pérdidas de yuca. Las pérdidas debidas a un anjeo adecuado equivalen a menos del 3% de la yuca seca.

Los trozos frescos de yuca se esparcen sobre las bandejas. Estas se colocan luego sobre travesaños de bambú o de guadua soportados por dos hileras de postes (la anterior más baja). Las bandejas quedan así inclinadas formando un ángulo de 20° a 25° que permite aprovechar al máximo la dirección y la fuerza del viento (Figura 27B).

Manejo

Obtenidos los trozos de raíces, las bandejas se llenan en el mismo sitio en que aquellos se pican (Figura 28); luego se lleva hasta los soportes.



Figura 28. Llenado de bandejas junto al área de la picadora.

Otra opción es colocar primero las bandejas vacías sobre los soportes (Figura 29) y llenarlas luego con los trozos frescos. Con una carreta se llevan los trozos hasta el lugar donde se encuentran las bandejas dispuestas. Una vez se coloca la cantidad convenida de trozos sobre cada bandeja, se procede a esparcir los trozos sobre la superficie (Figura 30).

El peso de los trozos de yuca no tiene que ser exactamente igual en cada bandeja. Se logra un peso promedio en todas llenando primero un recipiente con la cantidad adecuada por bandeja y esparciéndola en ella; cuando se emplean palas para cargar directamente las bandejas (Figura 28), la cantidad de yuca varía en muchas. Si las bandejas tienen dimensiones diferentes, su carga de trozos se obtiene multiplicando el área de la bandeja por la cifra apropiada de la columna 3 de la Tabla 12 (carga de las bandejas en kg/m^2).

Las bandejas se pueden dejar sobre los soportes durante la noche para aprovechar la acción del viento; si se pronostican lluvias, se deben apilar horizontalmente (una encima de la otra) bajo techo o afuera, pero cubiertas con una lona o un plástico, hasta el día siguiente. La bandeja inferior de la pila



se debe colocar sobre dos postes de bambú o de guadua para mantener todas las bandejas por encima del nivel del terreno. A la mañana siguiente se deben colocar de nuevo las bandejas sobre sus soportes. Una vez que los trozos hayan alcanzado el nivel de humedad apropiado, se deben recoger y empacar.



Figura 29. Las bandejas vacías se colocan sobre sus soportes.

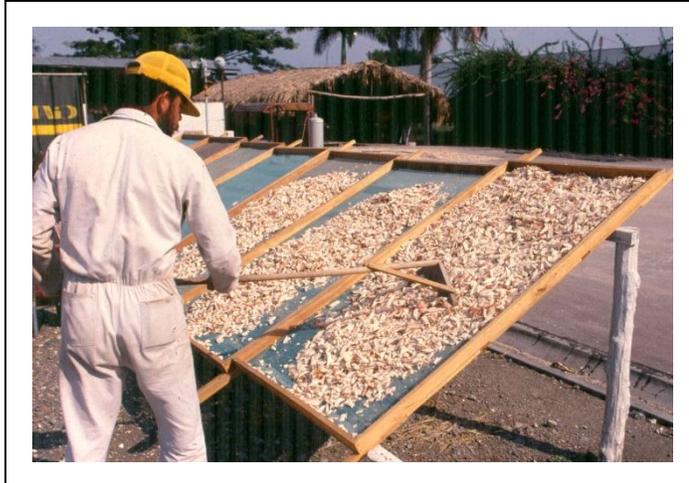


Figura 30. Los trozos de yuca se esparcen sobre las bandejas ya colocadas.

La cantidad de trozos que se coloca en las bandejas depende, en buena parte, de la velocidad del viento (Tabla 12). A mayor velocidad del viento, mayor será la cantidad de trozos de yuca que se puede secar sin necesidad de voltear los trozos; sin embargo, si la carga es mayor que 16 kg/m^2 , hay necesidad de hacerlo.



Tabla 12. Relación entre la carga de trozos de las bandejas inclinadas (CB) y la velocidad del viento.

Condiciones del viento	Velocidad (m/s)	CB (kg/m ²)
Calma, brisa suave	< 1	10
Brisa constante	1-2	10-13
Viento constante	> 2	13-16

FUENTE: Best, 1979.

Como se ilustra en la Figura 31, el secado en bandejas es más rápido que el secado en pisos, dada una misma carga de trozos. Una de las razones de esta diferencia es que durante la noche continúa la pérdida de humedad de los trozos en las bandejas, porque la circulación del aire no se detiene. En contraste, cuando el secado se realiza sobre pisos de concreto, los trozos pierden sólo una cantidad pequeña de humedad durante la noche, ya que la velocidad del viento a nivel del piso es baja.

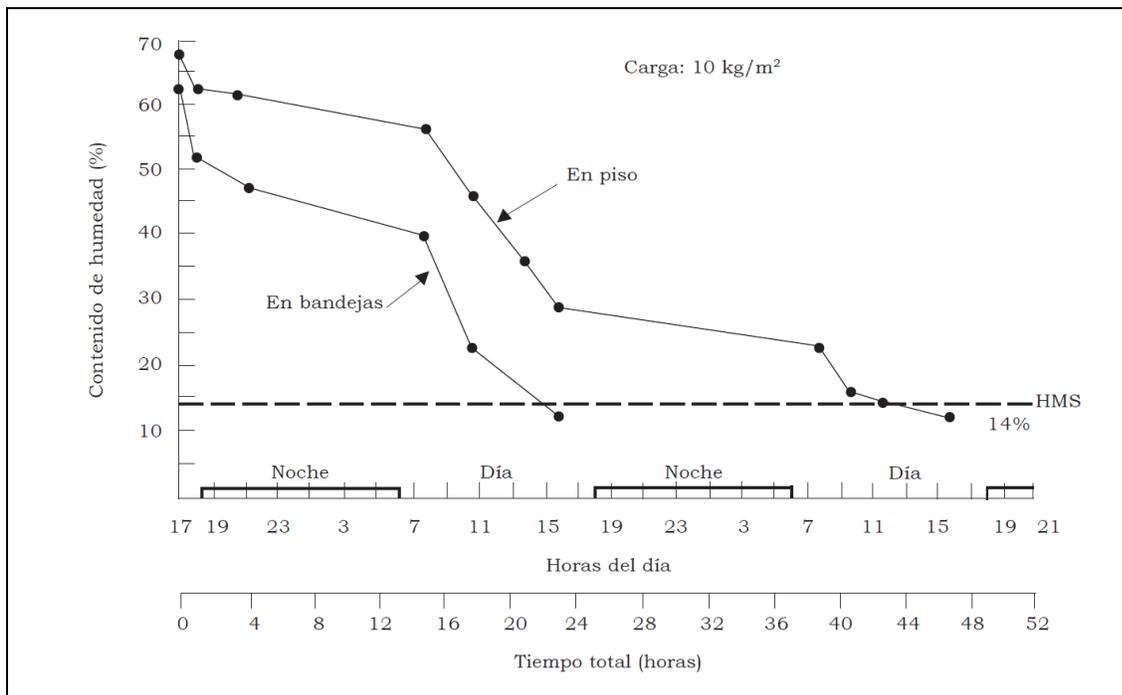


Figura 31. Comparación de dos curvas de secado de trozos de raíces de yuca: uno sobre pisos de concreto y otro en bandejas inclinadas (ver texto). HMS = nivel máximo de humedad aceptado en el proceso de secado.



Tiempo de Secado

Etapa inicial

En esta etapa, los trozos frescos pierden humedad rápidamente y la circulación del aire (viento) es más importante que la temperatura y la humedad del aire. Si la velocidad del viento es suficiente, esta etapa se puede completar aun cuando el cielo esté nublado; además, el secado se puede llevar a cabo por la noche. Por lo tanto, durante las épocas de poca precipitación pluvial, la yuca puede perder una cantidad apreciable de humedad si se dejan las bandejas sobre los soportes durante la noche. Para aprovechar mejor este período, la yuca se podría trozar en las horas de la tarde.

La Tabla 13 ilustra el efecto de los factores principales del tiempo de secado, especialmente la velocidad del viento. En contraste, los trozos frescos de yuca que se dejan esparcidos sobre patios de cemento durante la noche pierden sólo una pequeña parte de su humedad por las razones dichas: baja velocidad del viento a nivel del suelo y volteo poco frecuente.

Tabla 13. Tiempo diurno de secado para trozos de yuca cortados a diferentes horas del día.

Localidad	Condiciones climáticas promedio para todo el período del ensayo					Horas requeridas para secar (hasta 14% de humedad) en:				
	Altitud (msnm)	Temp. (°C)	H.R. (%)	Viento (m/s)	Radiación solar (cal/cm ² .s)	Piso (5 kg/m ²) a:		Bandejas inclinadas (carga de 10 kg/m ²) a:		
						8:00 ^a	8:00 ^a	11:00 ^a	14:00 ^a	17:00 ^a
Sevilla	1250	25	73	1.14	0.74	9	14	10	9	11
Espinal	430	29	60	0.66	0.66	11	13	10	9	6
Palmira	1000	26	68	1.26	0.61	14	12	9	6	8
Caicedonia	1100	26	69	0.90	0.72	14	14	12	11	15 (16%) ^b
El Darién	1450	23	72	1.73	0.70	13	13	12	12	11 (15%) ^b

a. Hora de inicio del ensayo.

b. Los porcentajes indican contenido de humedad a esa hora.

FUENTE: Best, 1979.

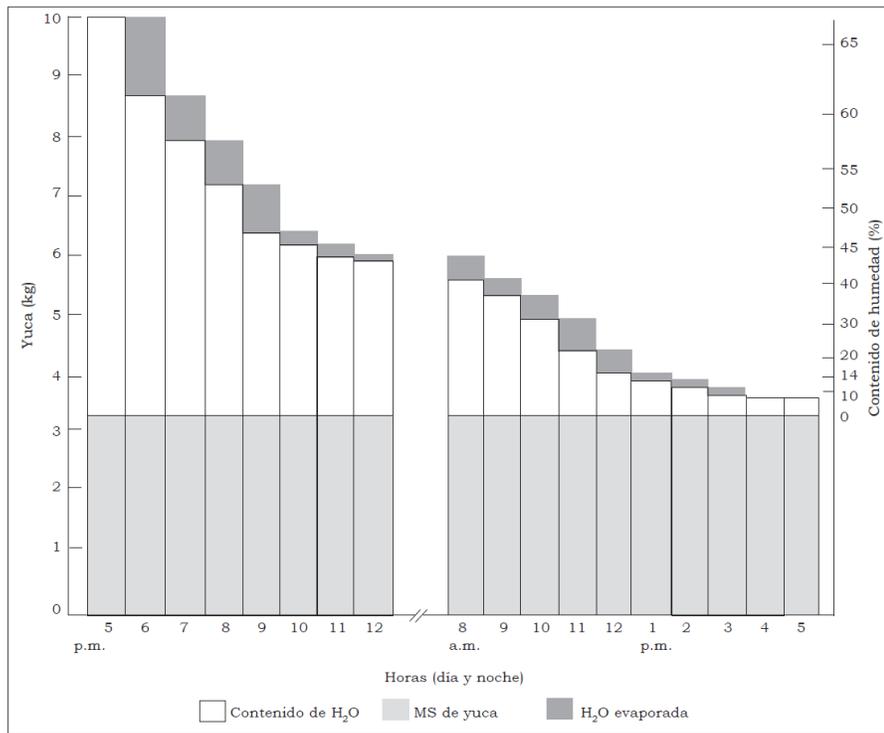


Figura 32. Curva típica de secado de trozos en bandejas. Nótese la pérdida de humedad en relación con la hora del día (inicia a las 5:00 p.m. y registra en la noche). FUENTE: Best, 1979.

Tabla 14. Tiempo requerido^a entre las 8:00 y las 18:00 horas para secar yuca hasta un 14% de humedad en cinco localidades diferentes.

Localidad	Condiciones climáticas de localidad					Tiempo en:	
	Altitud (msnm)	Temp. (°C)	H.R. (%)	Viento (m/s)	Radiación solar (cal/cm ² .s)	Bandejas (10 kg/m ²)	Piso ^b (5 kg/m ²)
Sevilla	1250	22	78	1.0	0.71	13	13
Espinal	430	30	64	0.9	0.65	12	10
Palmira	1000	26	66	1.2	0.61	13	15
Caicedonia	1100	26	67	0.8	0.58	19	17
El Darién	1450	24	70	1.9	0.73	12	11

a. Valores promedio por tres ensayos.

b. Los valores entre paréntesis son la carga de trozos de yuca.

FUENTE: Best, 1979.

Etapa final

En la etapa final de secado, cuando el contenido de humedad está alrededor del 30%, la pérdida de humedad es muy lenta (Figura 32) y se requiere la temperatura alta del medio día para completar el proceso. Durante esta etapa, la humedad del aire debe ser inferior a 65% para que el contenido de



humedad final de los trozos sea el adecuado para el almacenamiento. Algunas veces, particularmente en la época lluviosa, la humedad relativa es alta y el secado debe prolongarse hasta que el tiempo mejore.

Se hicieron varios ensayos en diferentes localidades de Colombia con el fin de determinar el tiempo de secado bajo diferentes condiciones climáticas (Tabla 14). Las siguientes conclusiones resumen el trabajo:

- El secado casi siempre toma más de 10 horas (1 día), pero menos de 20 horas (2 días). Únicamente bajo condiciones ambientales excepcionales los trozos de yuca se secarán en menos de un día. En los lugares donde la velocidad del viento y la radiación solar son bajas, el secado puede prolongarse casi 3 días.
- Se requiere, aproximadamente, el mismo número de horas para secar, por m², casi el doble del peso de trozos en las bandejas que en el piso de concreto.
- En áreas muy húmedas, el secado rápido de la yuca exige una velocidad del viento alta (localidades 1, 2 y 5).

Tamaño de los Trozos

El tamaño de los trozos de raíces influye en el tiempo de secado: cuanto más fino sea el trozo, más corto el tiempo para liberar el agua retenida en sus tejidos.

La Tabla 15 muestra el rango de dimensiones esperadas en los trozos producidos por las diferentes máquinas picadoras que actualmente se utilizan en el procesamiento de las raíces frescas.

La Tabla 16 registra las características del material integral producido por cada máquina. No todo el material está constituido por trozos típicos.

Como puede apreciarse, ninguna de las máquinas produce más de 47% de trozos típicos. La razón es que no es perfecto el ajuste de los discos contra la parte frontal, hay variación en la velocidad de alimentación, y hay diversidad en el tamaño de las raíces frescas.

Tabla 15. Rango de tamaños (en mm) esperados de los trozos frescos de yuca (típicos).

Máquina picadora	Longitud	Ancho	Espesor
Tailandia	60-80	25-30	4-7
Brasil	50-70	10	4-6
Malasia	50-80	4-6	4-6



Tabla 16. Trozos (%) producidos por cada picadora, según su tipo.

Máquina picadora	Trozo típico	Trozo delgado	Trozo fino
Tailandia	42	34	24
Brasil	46	35	19
Malasia	35	29	36

Tiempos

Las Figuras 33 y 34 muestran los tiempos netos de secado para los tres tipos de trozos en los sistemas de piso de concreto (10, 12 y 14 kg/m²) y de bandeja inclinada (10, 12, 14, 16, 18 y 20 kg/m²). El proceso se llevó a cabo entre la 8:00 y las 18:00 horas de cada día. El tiempo neto no incluye las 14 horas de la noche.

Las condiciones ambientales promedio del CIAT, lugar donde se efectuaron las pruebas, fueron las siguientes:

- Temperatura ambiental: 23.5 °C
- Humedad relativa: 75%
- Radiación solar: 0.73 cal/cm²min
- Velocidad del viento: 1.12 m/s
- Precipitación: 80 mm/mes

Para una misma densidad o carga, la diferencia entre los dos sistemas es apreciable. En los patios de cemento, prácticamente los trozos no se diferencian en el tiempo de secado. Sólo el trozo Malasia tiende a mostrar un mejor desempeño en las cargas de 10 y 12 kg/m². En el secado sobre bandejas inclinadas no hay diferencia entre las tiras finas del trozo Malasia y las barras rectangulares de los trozos Brasil o Colombia. Los tiempos netos de secado para las tajadas gruesas del trozo Tailandia superan en 2 ó 3 horas los tiempos de los otros trozos.

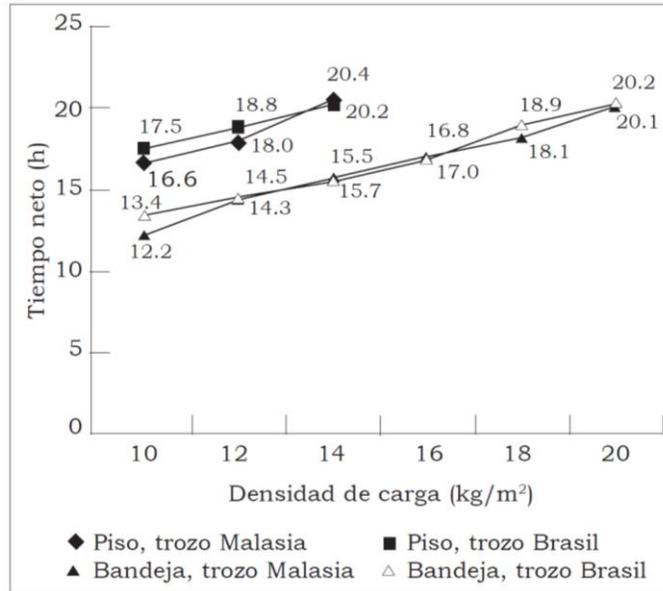


Figura 33. Tiempos netos de secado para los trozos Brasil y Malasia secados en piso y en bandeja inclinada.

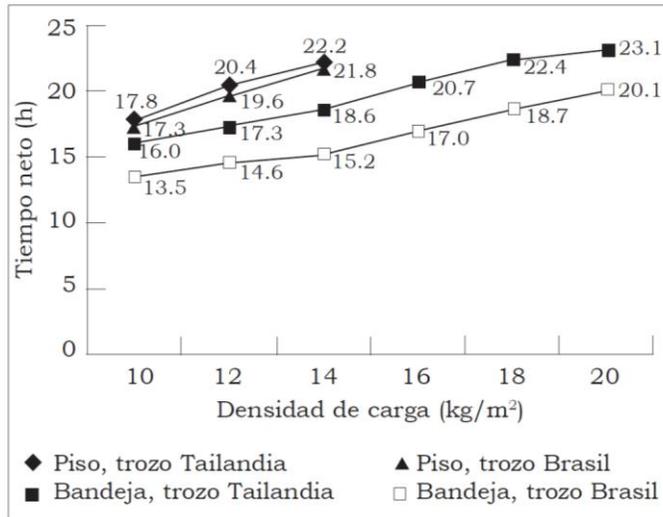


Figura 34. Tiempos netos de secado para los trozos Tailandia y Brasil secados en piso y en bandeja inclinada.

Las Figuras 35 y 36 muestran los resultados en términos de yuca seca por día y por cada m² de la superficie de secado. Este parámetro permite seleccionar la mejor carga para un sitio o región específica.

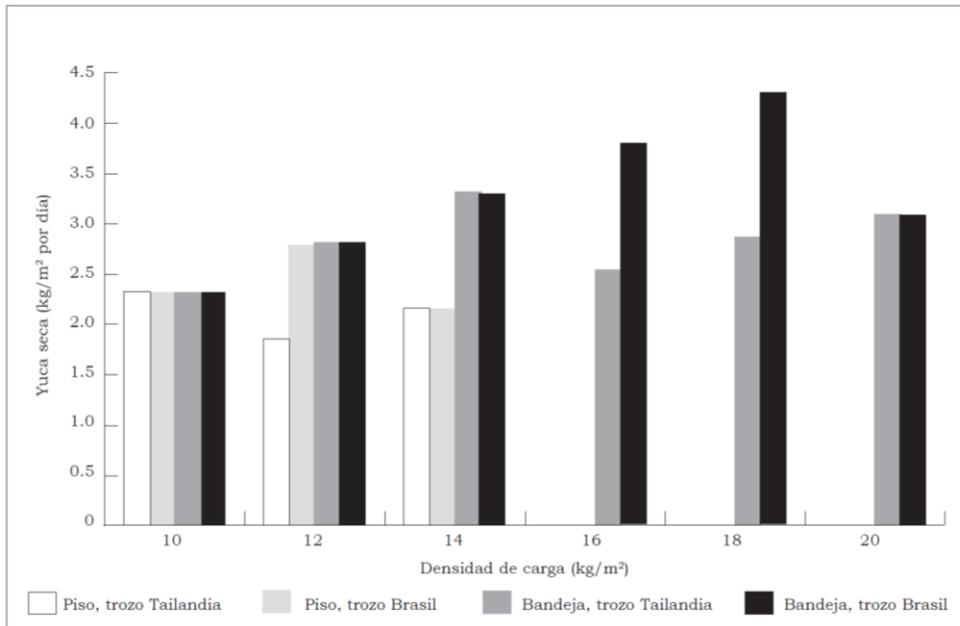


Figura 35. Producción de yuca seca en trozos Tailandia y Brasil, secados en piso y en bandeja inclinada.

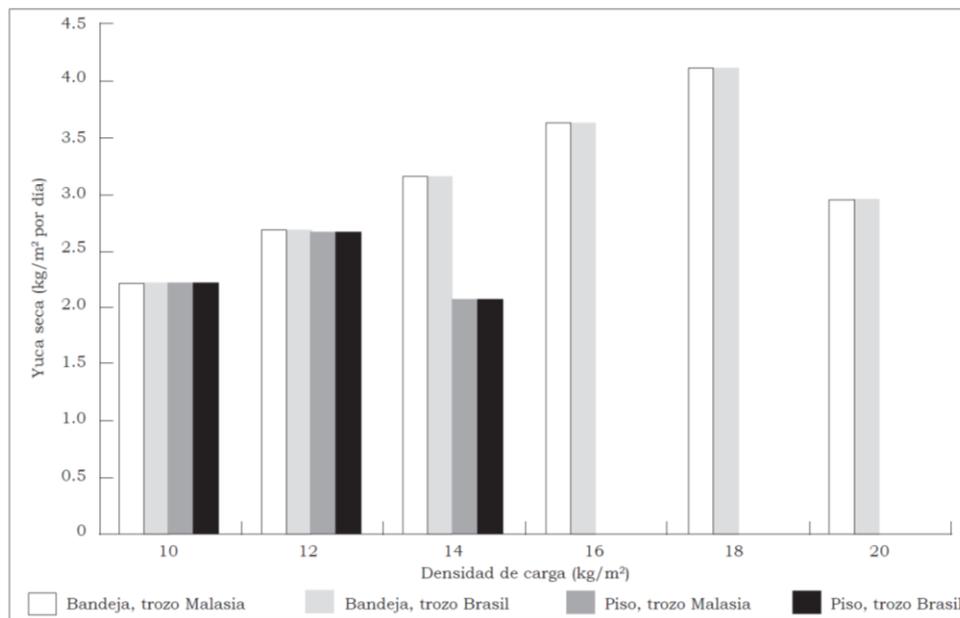


Figura 36. Producción de yuca seca en trozos Brasil y Malasia, secados en patio y en bandejas.



Costos

El secado sobre bandejas inclinadas es una buena opción para secar trozos frescos de yuca en lugares donde no es posible construir pisos de cemento por la pendiente del terreno y cuando no haya recursos suficientes para realizar esa inversión en el proyecto. En la Tabla 17 se comparan el costo de los materiales requeridos para construir tanto el piso de concreto como las bandejas.

Tabla 17. Comparación de los costos de los materiales necesarios para 100 m² de superficie de secado, ya sea en piso de concreto o sobre bandejas (marzo de 2001).

Material (unidad)	Costo unitario (Col\$)	Unidades requeridas	Costo total (Col\$)
Piso de concreto			
Cemento (sacos de 50 kg)	13,000	40	520,000
Arena (m ³)	15,000	5	75,000
Grava (m ³)	30,000	10	300,000
Alquitrán (kg)	4,000	20	80,000
Tablas de madera (2.8 x 0.24 x 0.025 m)	8,000	30	240,000
Subtotal			1,215,000
Imprevistos (10%)			130,000
Mano de obra (60%)			805,000
Total			2,150,000
Costo por m ² de superficie	21,500		
Bandejas inclinadas			
Madera (2.8 x 0.24 x 0.025 m)	8,000	42	336,000
Malla de gallinero 1" (rollo de 1.2 x 36 m)	39,500	3.2	126,400
Anjeo plástico (rollo de 0.9 x 30 m)	150,000	3.8	570,000
Puntillas (kg)	1,500	10	15,000
Bastidores (3 m x 2 cm x 2 cm)	3,000	100	300,000
Subtotal			1,347,400
Imprevistos (10%)			134,740
Mano de obra (60%)			890,000
Total			2,372,140
Costo por m ² de superficie	23,700		

FUENTE: Adaptado de Best, 1979.

De infraestructura

El costo por m² de superficie de secado es mayor tratándose de bandejas que de pisos de concreto. No obstante, si se tiene en cuenta la mayor tasa de carga que recibe el sistema de bandejas, habría un ahorro en la inversión total. El costo de mantenimiento de las bandejas y su duración dependen del cuidado con que se las manipule; el piso de concreto, en cambio, requiere poco mantenimiento y su duración es prolongada.

Las bandejas inclinadas simplifican notablemente el manejo de los trozos de yuca porque no se requiere voltear los trozos. Además, la mano de obra requerida para el proceso completo con bandejas es un 25% menor, aproximadamente, que la requerida en un piso de concreto, según el ejercicio de la Tabla 18.

En la Tabla 19 se presenta el flujo de actividades de tres operarios que realizan el secado de 3 t de yuca sobre 190 m² de bandejas inclinadas (carga = 16 kg/m²). El total de horas persona gastadas fue



de 19.5. Si se toma 2.5 como factor de conversión, las horas-persona necesarias para producir 1 t de yuca seca serán 16.2 (2 jornales, aproximadamente).

Tabla 18. Comparación de la mano de obra requerida para trozar una tonelada de yuca o secarla, ya sea en piso de concreto o sobre bandejas inclinadas.

Actividad	Horas-persona	
	En piso	En bandejas
Pesar y lavar las raíces	3	3
Picar las raíces	2	2
Subtotal	5	5
Esparcir los trozos	2	2
Voltear los trozos (cuatro veces al día)	1.5	
Recoger y cubrir trozos en la noche	1	1
Esparcir en la mañana	1.5	1
Voltear los trozos (cuatro veces al día)	1.5	
Recoger y empacar trozos	2	2
Subtotal	9.5	6
Total, mano de obra	14.5	11

FUENTE: Best, 1979.

Tabla 19. Cronograma de actividades para secar en bandejas inclinadas 3 t de yuca fresca^a.

Actividad	Primer día													
	Operarios (no.) en hora del día:													
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Pesar y trozar		2												
Esparcir, trozos			1											
Voltear														
Recoger y cubrir													2	
	Segundo día													
	Operarios (no.) en hora del día:													
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Destapar, bandejas		2												
Recoger												3		
Almacenar													3	

a. Área de secado = 190 m². Total horas-persona: 19.5; horas-persona/t de yuca: 16.2. Factor de conversión: 2.5.



De inversión

En la Tabla 20 se detallan las inversiones que se harían para montar una planta con 300 m² de bandejas inclinadas y con capacidad para secar 5 t de yuca fresca cada 2 días. Equivale a una planta que tenga 500 m² de piso de cemento.

Tabla 20. Inversión que requiere una planta de secado natural que tiene un área de bandejas de 300 m² y una capacidad de secado de 5 t de yuca fresca cada 2 días (febrero de 2001).

Concepto	Valor unitario (US\$) ^a	Valor total (US\$) ^a	Totales rubros (US\$) ^a
Instalaciones			6,280
Bandejas (300 m ²)	12/m ²	3,600	
Bodega (40 m ²)	46.80/m ²	1,872	
Malla de alambre (100 m)	1.00/m ²	100	
Cobertizo para la picadora (25 m ²)	28.30/m ²	708	
Equipos			1,700
Máquina picadora Colombia	700.00	700	
2 motores eléctricos (5 HP)	300.00	600	
Báscula de 500 kg	400.00	400	
Herramientas			180
4 carretillas	30.00	120	
6 palas metálicas	10.00	60	
Otros			60
300 empaques	0.20	60	
Subtotal			8,220
Imprevistos (10%)			822
Capital de trabajo (30 días) ^b		4,000	4,000
Total			13,042

a. 1 dólar = Col\$ 2300 (marzo de 2001).

b. Cuadro de cálculo:

Capital de trabajo necesario para operar normalmente la planta durante 30 días (Col\$)	
Yuca fresca = 72 t x \$75,000 c/u	\$ 5,400,000
Jornales = 80 x \$12,000 c/u	\$ 960,000
Empaques = 600 x \$300 c/u	\$ 180,000
Yuca seca = 30 t x \$45,000 (flete cantidad por tonelada)	\$ 1,350,000
Total capital de trabajo	\$ 7,890,000

En la Tabla 21 se presentan los costos de procesamiento registrados en una planta de secado en la Costa Atlántica. Los datos fueron suministrados por la Federación de Productores, Procesadores y Comercializadores de Yuca (FEDEYUCA), en agosto de 2000. Los costos incluyen el flete de Sincelejo a Medellín. Para el caso típico de una planta de la Costa Atlántica, el costo de procesamiento supera los \$40,000 pesos por tonelada de trozos secos y la



Tabla 21. Estructura de costos de una planta de secado de yuca de 300 m² que emplea bandejas inclinadas (agosto de 2000).

Concepto o costo	Valor	
	(Col\$)	(%)
Costos fijos		
Administración	3,000	
Depreciación		
Costos financieros		
Mantenimiento	4,500	
Subtotal	7,500	3.5
Costos variables		
Materia prima ^a	187,500	
Mano de obra ^b	24,000	
Gastos	3,000	
Imprevistos		
Subtotal	214,500	78.0
Gastos de comercialización		
Empaque	7,000	
Comisión		
Flete ^c	45,000	
Subtotal	52,000	18.5
Total, costos + gastos	274,500	100.0

Tabla 22. Costos de procesamiento de 1 t de trozos secos de yuca y utilidad percibida (Cooperativa Cooproalgarobos, Chinú, Córdoba; agosto de 2000)^a.

Rubro	Col\$
Materia prima	187,500
Procesamiento	42,000
Flete	45,000
Total, costos de producción	274,500
Precio de venta ^b	300,000
Utilidad neta	25,500

a. Los datos de costos de este documento deben actualizarse al momento de considerar un proyecto específico.

b. En la planta de concentrados.



BIBLIOGRAFÍA

- Best R. 1979. Secamiento de la yuca. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 24 p.
- Best R; Gómez G. 1987. Procesamiento de las raíces de yuca para alimentación animal. En: Domínguez CE (ed.). Yuca: Investigación, producción y utilización. Centro Internacional de Agricultura (CIAT), Cali, Colombia. p. 513-37.
- Best R; Gómez G. 1983. Procesamiento de las raíces de yuca para alimentación animal. En: Domínguez C (comp.). Yuca: Investigación, producción y utilización. Programa de Yuca, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 513-538.
- Castillo C; Hernández W. 1985. Estudio del secado natural de tres tipos de trozos de yuca. Tesis. Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad del Valle, Cali, Colombia. 119 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1987. Secado natural de raíces de yuca en pisos de concreto. Guía de estudio para ser usada como complemento de la unidad audiotutorial sobre el mismo tema. Contenido científico: Rupert Best y Bernardo Ospina. Cali, Colombia. 48 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1979. Manual de producción de yuca. Cali, Colombia. (Mecanografiado.)
- CIAT (Centro internacional de Agricultura Tropical). 1978. Método para la determinación del contenido de materia seca y almidón en la yuca por el sistema de gravedad específica. En: CIAT. Curso de producción de yuca. Cali, Colombia. v. 1, p. 352-356.
- CIAT (Centro internacional de Agricultura Tropical). 1978. Métodos usados en el CIAT para la determinación de carbohidratos, almidones y azúcares en yuca. En: CIAT. Curso de Producción de Yuca. Cali, Colombia. v. 1, p. 416-420.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1976. Cassava production systems; Annual report 1976. Cali, Colombia. 76 p.
- Cours G. 1951. Le manioc á Madagascar. En: Memoirs de l'institute Scientifique de Madagascar. Biologie Végétale 3(2):203-416.
- Gómez G; Best R. 1983. Secamiento natural de la yuca para la alimentación animal. Guía de estudio. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 27 p.
- Grossman J; Freitas AC. 1950. Determinação do teor de materia seca pelo peso específico em raizes de mandioca. Revista Agronômica (Porto Alegre, Brasil) 14:5-80.
- Herrera C A; Arias CA; Muñoz H. 1983. Guía para la construcción de una trozadora de yuca. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 35 p.



- Krochmal A; Kilbride B. 1966. An inexpensive laboratory method for cassava starch extraction. *Journal of Agriculture (Puerto Rico)* 50(3):252-253.
- Ospina B; Best R. 1984. Manual de construcción y operación de una planta de secado natural de yuca. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 41 p.
- Ospina B; Best R. 1986. Secado natural de yuca para la alimentación animal: Una nueva agroindustria en Colombia. Trabajo presentado en el IV Congreso Brasileiro de Mandioca, Balneario Cambeario, Santa Catarina, Brasil, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 18 p.
- Ospina B; Gómez G; Best R. 1983. El secado de la yuca para la alimentación animal. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 12 p.
- Roa G. 1974. Natural drying of cassava. Tesis (Ph.D.). Dept. of Agricultural Engineering, Michigan State University, East Lansing, MI, E.U. 234 p.
- Thanh NC; Pescod MB; Muttamara S. 1976. Final report on technological improvement of tapioca chips and pellets produced in Thailand. Asian Institute of Technology, Bangkok, Tailandia. vol. 57. 41 p.
- Toro JC; Cañas A. 1983. Determinación del contenido de materia seca y almidón en yuca por el sistema de gravedad específica. En: Domínguez C (comp.). Yuca: Investigación, producción y utilización. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 567-575.