

## CAPÍTULO 23

# Secamiento 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 secamiento 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 23-1A). 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.

Nótese que la sustitución de un anejo plástico de 35 perforaciones por  $\text{cm}^2$ , por otro con aberturas más grandes, daría como resultado mayores pérdidas de yuca. Las pérdidas debidas a un anejo 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  $20^\circ$  a  $25^\circ$  que permite aprovechar al máximo la dirección y la fuerza del viento (Figura 23-1B).

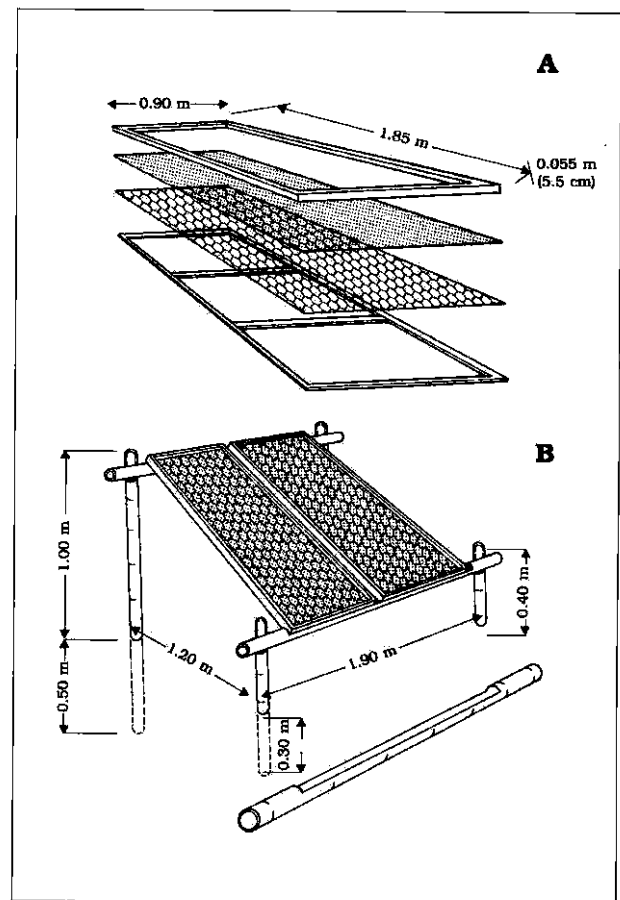


Figura 23-1. (A) Bandeja con sus dimensiones. (B) Colocación de la bandeja sobre sus soportes de guadua o bambú.

FUENTE: Best, 1979.

\* Ingeniero Agrícola, Sistemas de Manejo Poscosecha, CLAYUCA, Cali, Colombia. E-mail: l.alonso@cgiar.org

\*\* M.Sc., Desarrollo Agrícola Internacional, Director Ejecutivo de CLAYUCA. E-mail: b.ospina@cgiar.org

\*\*\* Ph.D., Ingeniería Química, Líder del Proyecto de Desarrollo de Agroempresas Rurales, CIAT, Cali, Colombia. E-mail: r.best@cgiar.org

**Manejo**

Obtenidos los trozos de raíces, las bandejas se llenan en el mismo sitio en que aquellos se pican (Figura 23-2); luego se lleva hasta los soportes.

Otra opción es colocar primero las bandejas vacías sobre los soportes (Figura 23-3) 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 23-4).

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

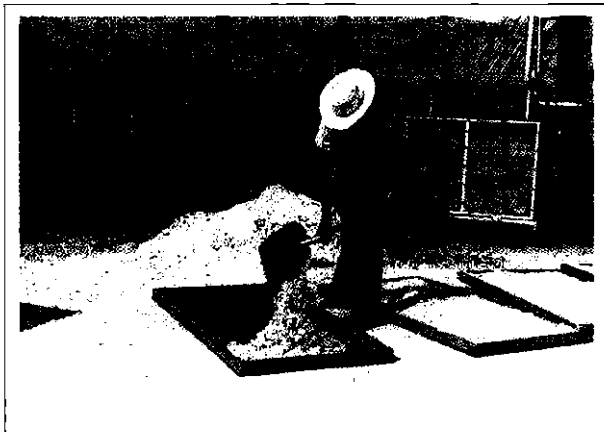


Figura 23-2. Un operario llena las bandejas junto al área de la picadora.

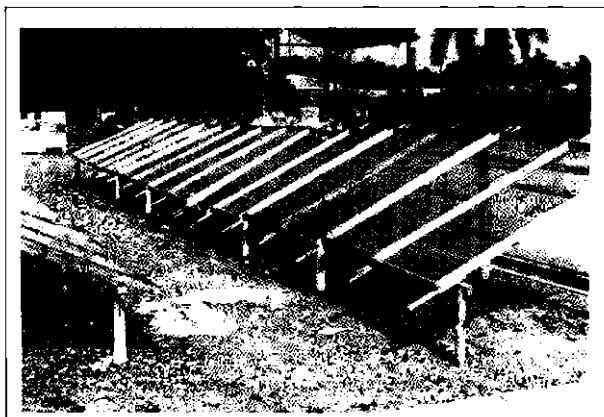


Figura 23-3. Las bandejas vacías se colocan sobre sus soportes.



Figura 23-4. Los trozos de yuca se esparcen sobre las bandejas ya colocadas.

palas para cargar directamente las bandejas (Figura 23-2), 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 del Cuadro 23-1 (carga de las bandejas en kg/m<sup>2</sup>).

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.

La cantidad de trozos que se coloca en las bandejas depende, en buena parte, de la

Cuadro 23-1. 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 <sup>2</sup> )
Calma, brisa suave	< 1	10
Brisa constante	1-2	10-13
Viento constante	> 2	13-16

FUENTE: Best, 1979.

velocidad del viento (Cuadro 23-1). 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<sup>2</sup>, hay necesidad de hacerlo.

Como se ilustra en la Figura 23-5, 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.

### 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.

El Cuadro 23-2 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.

#### Etapa final

En la etapa final de secamiento, cuando el contenido de humedad está alrededor del 30%, la pérdida de humedad es muy lenta (Figura 23-6)

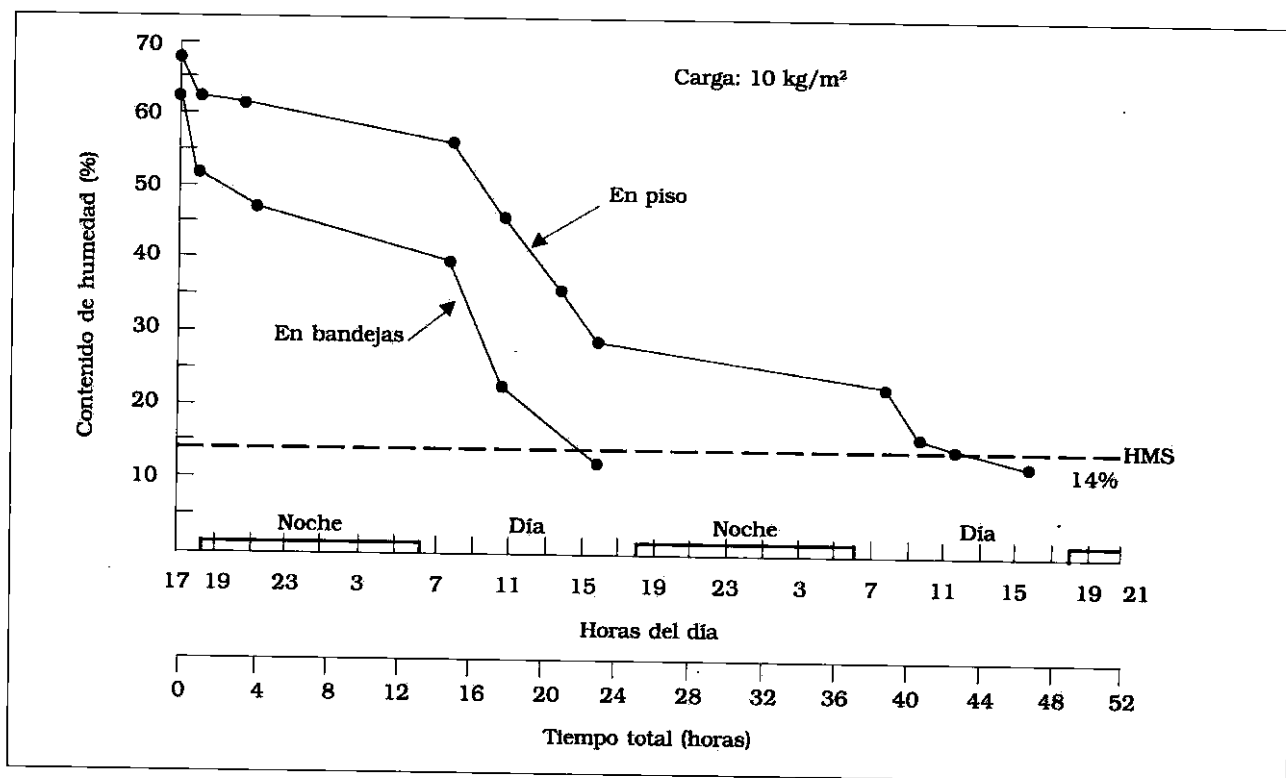


Figura 23-5. Comparación de dos curvas de secado de trozos de raíces de yuca: uno sobre pisos de concreto y otro en bandejas inclinadas (ver texto). HMS = nivel máximo de humedad aceptado en el proceso de secamiento.

Cuadro 23-2. Tiempo diurno de secamiento para trozos de yuca cortados a diferentes horas del día.

Localidad	Condiciones climáticas promedio para todo el periodo del ensayo					Horas requeridas para secar (hasta 14% de humedad) en:				
	Altitud (msnm)	Temp. (°C)	H.R. (%)	Viento (m/s)	Radiación solar (cal/cm <sup>2</sup> .s)	Bandejas inclinadas (carga de 10 kg/m <sup>2</sup> ) a:				
						Piso (5 kg/m <sup>2</sup> ) a:				
						8:00 <sup>a</sup>	8:00 <sup>a</sup>	11:00 <sup>a</sup>	14:00 <sup>a</sup>	17:00 <sup>a</sup>
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%) <sup>b</sup>
El Darién	1450	23	72	1.73	0.70	13	13	12	12	11 (15%) <sup>b</sup>

a. Hora de inicio del ensayo.

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

FUENTE: Best, 1979.

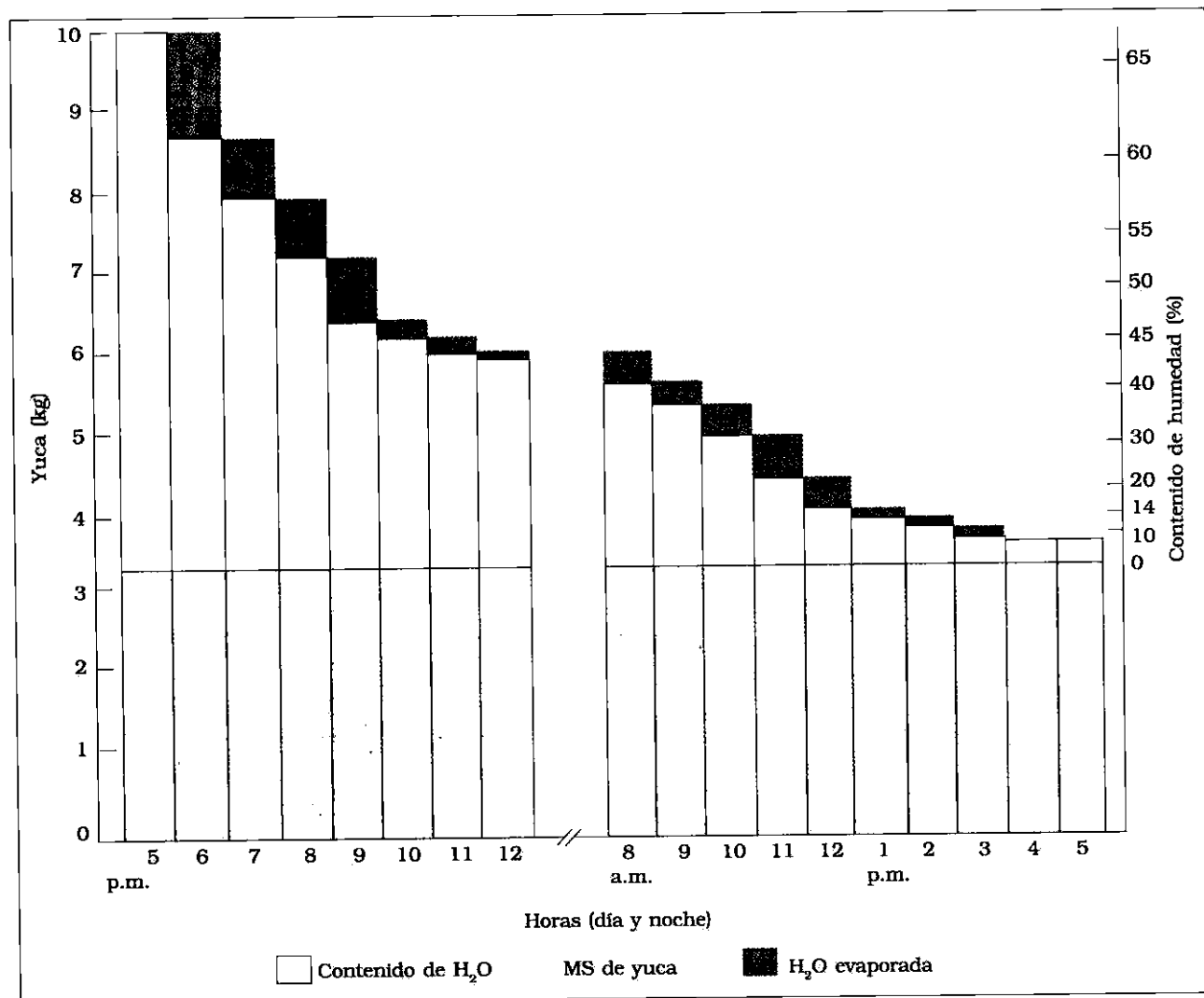


Figura 23-6. Curva típica de secamiento de trozos en bandejas. Nótese la pérdida de humedad en relación con la hora del día (inicia a las 5:00 p.m. y registra en la noche).

FUENTE: Best, 1979.

Cuadro 23-3. Tiempo requerido<sup>a</sup> 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 <sup>2</sup> .s)	Bandejas (10 kg/m <sup>2</sup> )	Piso <sup>b</sup> (5 kg/m <sup>2</sup> )
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.

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 secamiento bajo diferentes condiciones climáticas (Cuadro 23-3). Las siguientes conclusiones resumen el trabajo:

- El secamiento 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 secamiento puede prolongarse casi 3 días.
- Se requiere, aproximadamente, el mismo número de horas para secar, por m<sup>2</sup>, 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.

El Cuadro 23-4 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.

El Cuadro 23-5 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.

Cuadro 23-4. 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

Cuadro 23-5. 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 23-7 y 23-8 muestran los tiempos netos de secado para los tres tipos de trozos en los sistemas de piso de concreto (10, 12 y 14 kg/m<sup>2</sup>) y de bandeja inclinada (10, 12, 14, 16, 18 y 20 kg/m<sup>2</sup>). 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/cm<sup>2</sup>·min
- 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/m<sup>2</sup>. 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.

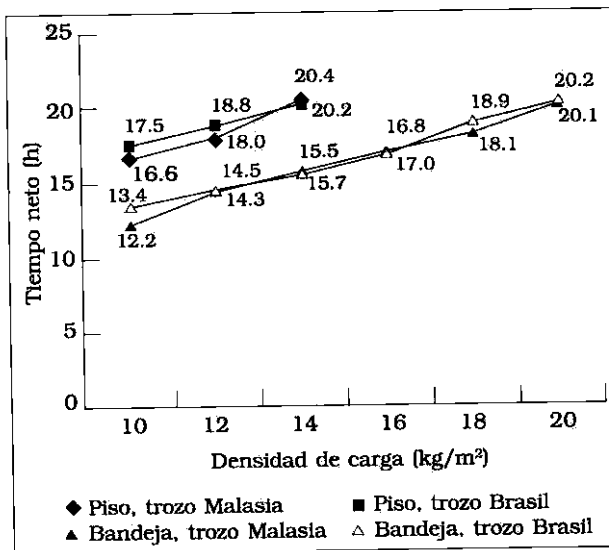


Figura 23-7. Tiempos netos de secado para los trozos Brasil y Malasia secados en piso y en bandeja inclinada.

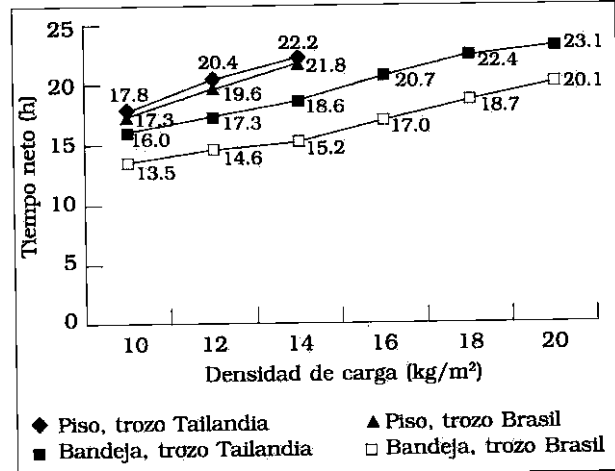


Figura 23-8. Tiempos netos de secado para los trozos Tailandia y Brasil secados en piso y en bandeja inclinada.

Las Figuras 23-9 y 23-10 muestran los resultados en términos de yuca seca por día y por cada m<sup>2</sup> de la superficie de secado. Este parámetro permite seleccionar la mejor carga para un sitio o región específica.

### Costos

El secamiento 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 el Cuadro 23-6 se comparan el costo de los materiales requeridos para construir tanto el piso de concreto como las bandejas.

### De infraestructura

El costo por m<sup>2</sup> de superficie de secamiento 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,

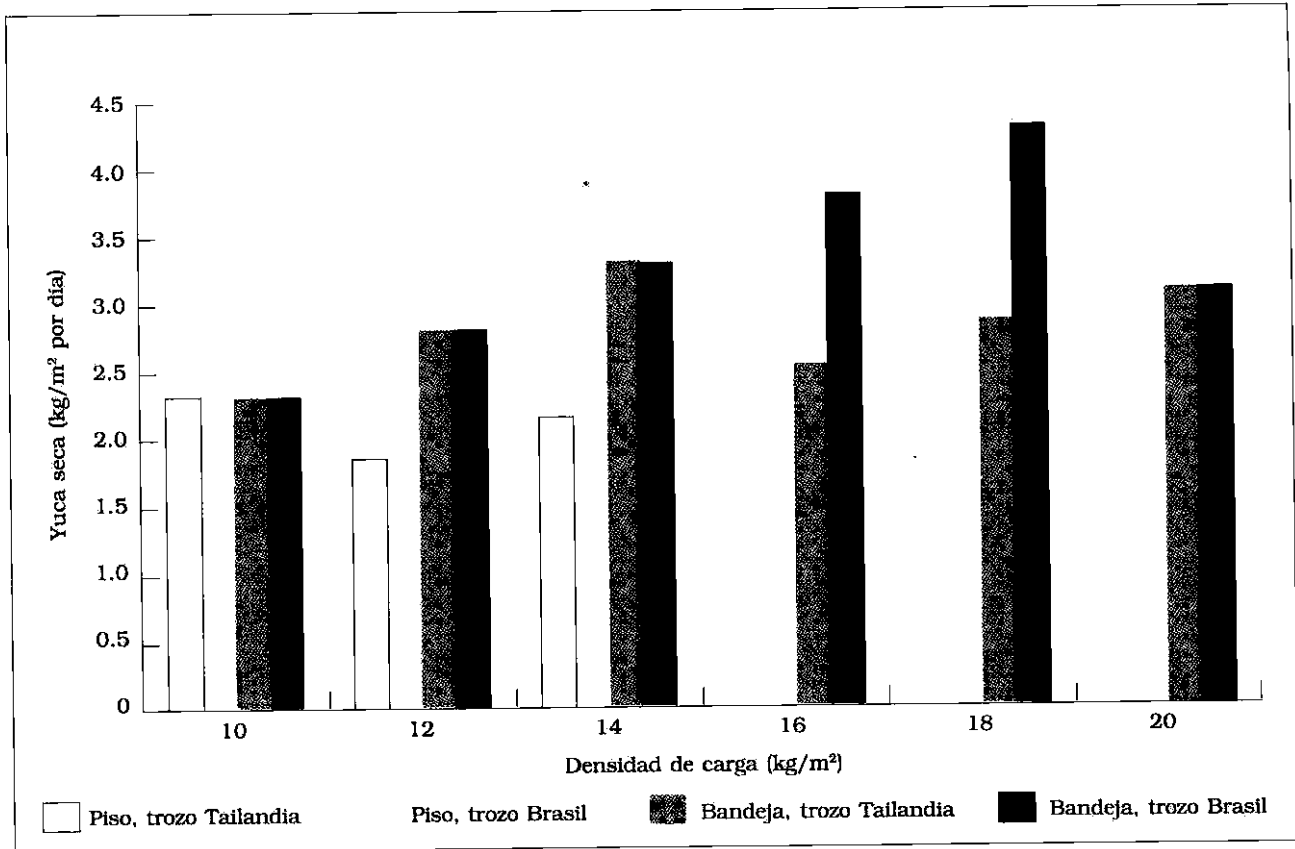


Figura 23-9. Producción de yuca seca en trozos Tailandia y Brasil, secados en piso y en bandeja inclinada.

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 del Cuadro 23-7.

En el Cuadro 23-8 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).

### De inversión

En el Cuadro 23-9 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.

En el Cuadro 23-10 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 utilidad obtenida está alrededor de \$25,000 pesos (Cuadro 23-11).

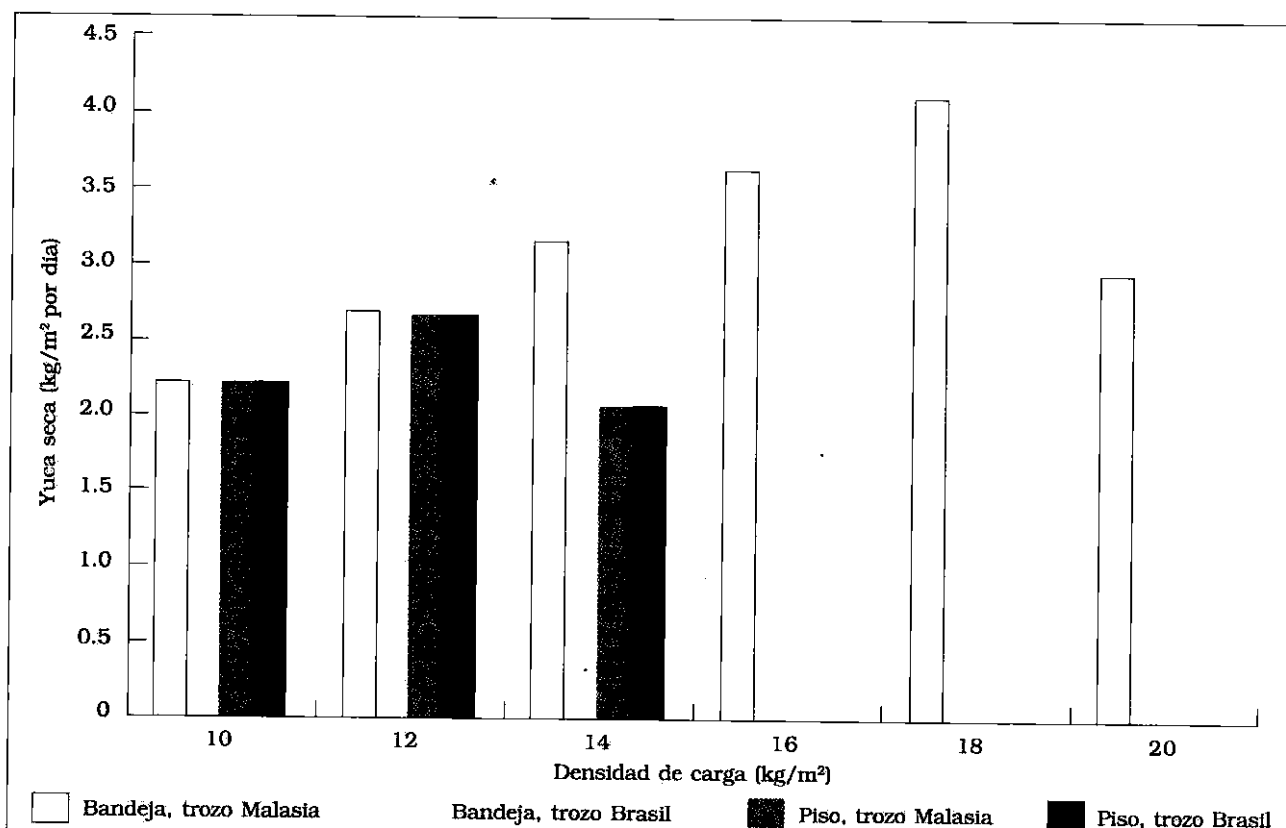


Figura 23-10. Producción de yuca seca en trozos Brasil y Malasia, secados en patio y en bandejas.

Cuadro 23-6. Comparación de los costos de los materiales necesarios para 100 m<sup>2</sup> de superficie de secamiento, ya sea en piso de concreto o sobre bandejas (marzo de 2001).

Material (unidad)	Costo unitario (Col\$)	Unidades requeridas	Costo total (Col\$)
<b>Piso de concreto</b>			
Cemento (sacos de 50 kg)	13,000	40	520,000
Arena (m <sup>3</sup> )	15,000	5	75,000
Grava (m <sup>3</sup> )	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
<b>Total</b>			<b>2,150,000</b>
Costo por m <sup>2</sup> de superficie	21,500		
<b>Bandejas inclinadas</b>			
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
<b>Total</b>			<b>2,372,140</b>
Costo por m <sup>2</sup> de superficie	23,700		

FUENTE: Adaptado de Best, 1979.

Secamiento de Trozos de Yuca en Bandejas Inclinadas

Cuadro 23-7. 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.

Cuadro 23-8. Cronograma de actividades para secar en bandejas inclinadas 3 t de yuca fresca<sup>a</sup>.

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. Area de secado = 190 m<sup>2</sup>. Total horas-persona: 19.5; horas-persona/t de yuca: 16.2. Factor de conversión: 2.5.

Cuadro 23-9. Inversión que requiere una planta de secado natural que tiene un área de bandejas de 300 m<sup>2</sup> y una capacidad de secado de 5 t de yuca fresca cada 2 días (febrero de 2001).

Concepto	Valor unitario (US\$) <sup>a</sup>	Valor total (US\$) <sup>a</sup>	Totales rubros (US\$) <sup>a</sup>
<b>Instalaciones</b>			6,280
Bandejas (300 m <sup>2</sup> )	12/m <sup>2</sup>	3,600	
Bodega (40 m <sup>2</sup> )	46.80/m <sup>2</sup>	1,872	
Malla de alambre (100 m)	1.00/m <sup>2</sup>	100	
Cobertizo para la picadora (25 m <sup>2</sup> )	28.30/m <sup>2</sup>	708	
<b>Equipos</b>			1,700
Máquina picadora Colombla	700.00	700	
2 motores eléctricos (5 HP)	300.00	600	
Báscula de 500 kg	400.00	400	
<b>Herramientas</b>			180
4 carretillas	30.00	120	
6 palas metálicas	10.00	60	
<b>Otros</b>			60
300 empaques	0.20	60	
<b>Subtotal</b>			8,220
Imprevistos (10%)			822
Capital de trabajo (30 días) <sup>b</sup>		4,000	4,000
<b>Total</b>			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
<b>Total capital de trabajo</b>	<b>\$ 7,890,000</b>

Cuadro 23-10. Estructura de costos de una planta de secado de yuca de 300 m<sup>2</sup> que emplea bandejas inclinadas (agosto de 2000).

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

a. Con 2.5 t de yuca fresca se obtiene 1 t de yuca seca.

b. Dos jornales para producir 1 t de yuca seca.

c. Flete de Sincelejo a Medellín.

Cuadro 23-11. Costos de procesamiento de 1 t de trozos secos de yuca y utilidad percibida (Cooperativa Cooprogarrobos, Chimú, Córdoba; agosto de 2000)<sup>a</sup>.

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

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. Cassava drying. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 24 p.

*Secamiento de Trozos de Yuca en Bandejas Inclinadas*

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.

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.

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.

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.