

3213



COMPARACION DE TRES TIPOS DE TROZOS DE YUCA  
EN SECADO ARTIFICIAL

LISIMACO ALONSO, MIGUEL ANGEL VIERA  
RUPERT BEST Y FRANCISCO FIGUEROA

SECCION UTILIZACION, PROGRAMA DE YUCA  
CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL  
APARTADO AEREO 6713, CALI, COLOMBIA

Artículo sometido para publicación en el número especial de la Revista ACOGRANOS que se publicará con motivo de la III Mesa Redonda Latinoamericana sobre prevención de pérdidas postcosecha de granos, Cali, 27-31 de Octubre, 1986.

COMPARACION DE TRES TIPOS DE TROZOS DE YUCA  
EN SECADO ARTIFICIAL

LISIMACO ALONSO, MIGUEL ANGEL VIERA  
RUPERT BEST Y FRANCISCO FIGUEROA

SECCION UTILIZACION, PROGRAMA DE YUCA  
CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL  
APARTADO AEREO 6713, CALI, COLOMBIA

Artículo sometido para publicación en el número especial de la  
Revista ACOGRANOS que se publicará con motivo de la III Mesa  
Redonda Latinoamericana sobre prevención de pérdidas postcosecha  
de granos, Cali, 27-31 de Octubre, 1986.

## RESUMEN

Se investigó el secado de tres tipos de trozos de yuca, denominados tipos Brasil, Malasia y Tailandia en un secador de capa fija con aire a 60°C y con diferentes relaciones de caudal de aire (95, 127, 190 y 380 m<sup>3</sup>/min por tonelada de trozos frescos de yuca). Los tres tipos de trozos no presentaron diferencias significativas en términos del tiempo de secado y la eficiencia térmica del proceso. La homogeneidad en el tamaño y en las dimensiones de los trozos tipo Brasil ofrecen ventajas en la operación del sistema de secado en cuanto a la facilidad del volteo y al empleo de cargas hasta 0.20 t/m<sup>2</sup>, además, permiten un secado más uniforme. En general, la eficiencia del proceso de secado aumenta en la medida en que se reduce el caudal aplicado y el tiempo de secado es más largo.

## COMPARACION DE TRES TIPOS DE TROZOS DE YUCA EN SECADO ARTIFICIAL

## INTRODUCCION

El secado por circulación de aire caliente a través de un lecho o capa fija de un producto es una operación adiabática en la que el calor necesario para la evaporación de la humedad es suministrado por el calor sensible del aire.

En este proceso ocurren dos fenómenos fundamentales y simultáneos:

- (1) Se transfiere calor para evaporar la humedad del material; y
- (2) Se transfiere masa en forma de líquido o vapor dentro del sólido y como vapor en la superficie de contacto gas-sólido.

Los factores que regulan la velocidad de estos dos fenómenos determinan la rapidez del proceso de secado.

Un estudio de la forma como se lleva a cabo el proceso de secado se puede basar en el mecanismo interno de la circulación de la humedad o en el efecto de las condiciones externas de temperatura, humedad relativa y caudal del aire, estado de subdivisión del material, etc., sobre la velocidad de secado. El primer procedimiento es más laborioso porque requiere de un estudio básico de las características y condiciones internas del material. El segundo, aunque es menos analítico, se usa de modo más general debido a que los resultados tienen mayor aplicabilidad en el diseño y evaluación de equipos de secado.

Chirife y Cachero (1970) y Webb y Gill (1974) estudiaron el secado artificial de trozos de yuca en capa fija con el propósito de establecer los factores internos y externos que controlan el proceso. El espesor de la capa, la temperatura y el caudal de aire, según estos autores, fueron los factores externos más relevantes que afectaron el tiempo de secado; encontraron que el proceso fue de velocidad decreciente controlado por mecanismos difusionales y no presentó un período de velocidad constante.

Chirife (1971) analizó datos experimentales del secado de trozos de yuca, buscando definir el mecanismo interno de la circulación de la humedad y encontró que la difusión líquida es el mecanismo que mejor describe el comportamiento del proceso.

En vista de que el secado artificial es una operación de contacto gas-sólido y que la transferencia de masa y calor se desarrolla en la superficie de los trozos, se puede conseguir una mejor eficiencia del proceso cuando los trozos ofrecen una mayor exposición de la superficie a la masa de aire. Por lo tanto, el tamaño y las características superficiales de los trozos de yuca son variables que pueden afectar la velocidad del proceso.

En este informe se presentan los resultados experimentales del secado de tres tipos de trozos, denominados tipos Brasil, Malasia y Tailandia, cuando se procesaron en un secador de capa fija con aire a 60°C y diferentes relaciones de caudal por tonelada de yuca fresca. El objeto de este estudio fue seleccionar el tipo de trozo de mejores características y el caudal aplicado que permita llevar a cabo el proceso con mayor velocidad y eficiencia.

## MATERIALES Y METODOS

### Materiales

Las raíces de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) de la variedad Manihota Pl2 fueron cosechadas entre los 10-12 meses de edad en el Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, Palmira, Colombia. El contenido de humedad de las muestras de trozos de yuca tomadas al inicio de cada prueba fue de 65%  $\pm$  7.5 en base húmeda.

### Preparación de los trozos

Las raíces de yuca fueron trozadas en tres prototipos de máquinas disponibles en la Sección de Utilización del Programa de Yuca, CIAT, llamadas Brasil, Malasia y Tailandia. Estos nombres indican el país de procedencia del diseño original de cada máquina.

La máquina trozadora tipo Brasil<sup>1</sup> (Figs. 1 y 2) consiste de un cilindro giratorio provisto de unas aletas radiales que impulsan las raíces contra un juego de cuchillas circulares - dentadas y contra una cuchilla plana, horizontal y estacionaria, que cortan la yuca en forma de barras rectangulares. El trozo típico producido por esta máquina midió aproximadamente 50-70 mm de largo, 10 mm de ancho y 4-6 mm de espesor. El porcentaje de trozo típico producido fue de 45%, 35% de trozo partido o delgado y 20% de ripio o partículas finas.

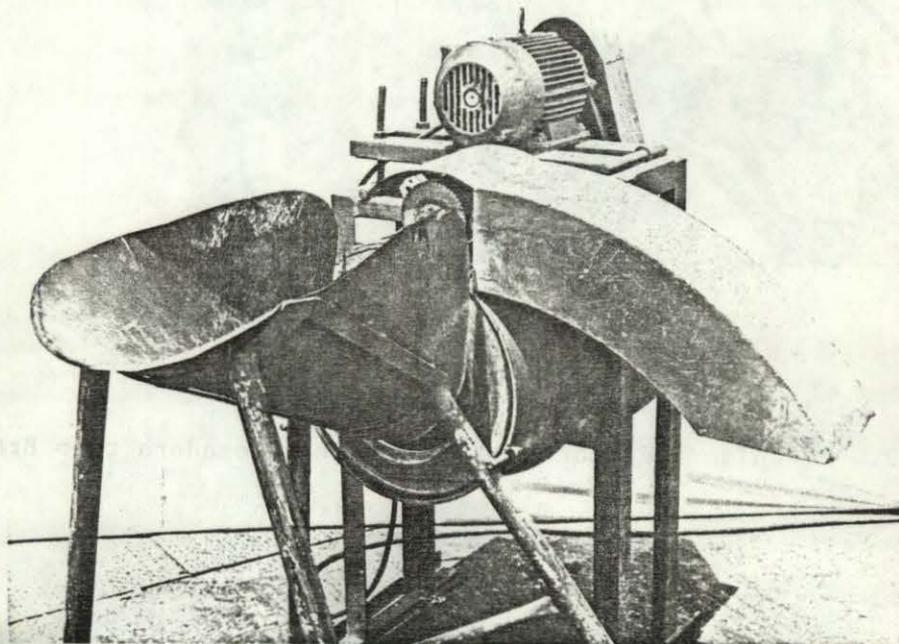


FIGURA 1. Máquina trozadora tipo Brasil

La máquina trozadora tipo Malasia (Fig. 3 y 4) consiste de un marco metálico que soporta una tolva de alimentación y un disco vertical giratorio que posee cuatro cuchillas corrugadas, las que cortan la yuca en tiras de 50-80 mm de longitud, 4-6 mm de ancho y 4-6 mm de espesor. Estas dimensiones corresponden al trozo típico, que fue producido en un 35%, el 29% fue de trozo medio y el resto, 36%, de ripio.

<sup>1/</sup> Máquina proyectada y desarrollada por CENTREINAR, bajo la coordinación de los Ingenieros Mauri Martins Teixeira y Oscar Antonio Braunbeck.

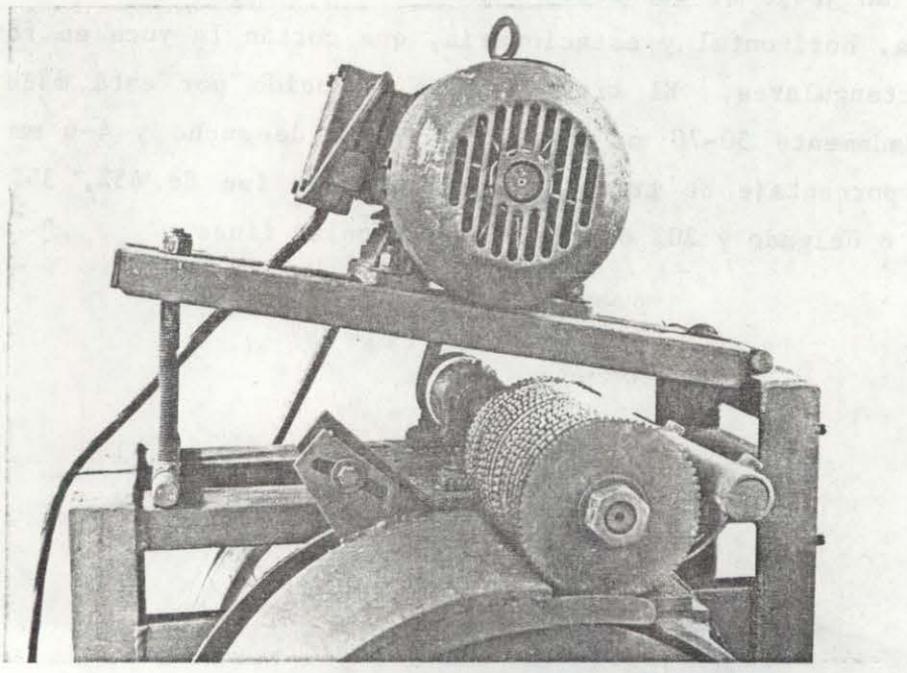


FIGURA 2. Mecanismos de corte de la máquina trozadora tipo Brasil.

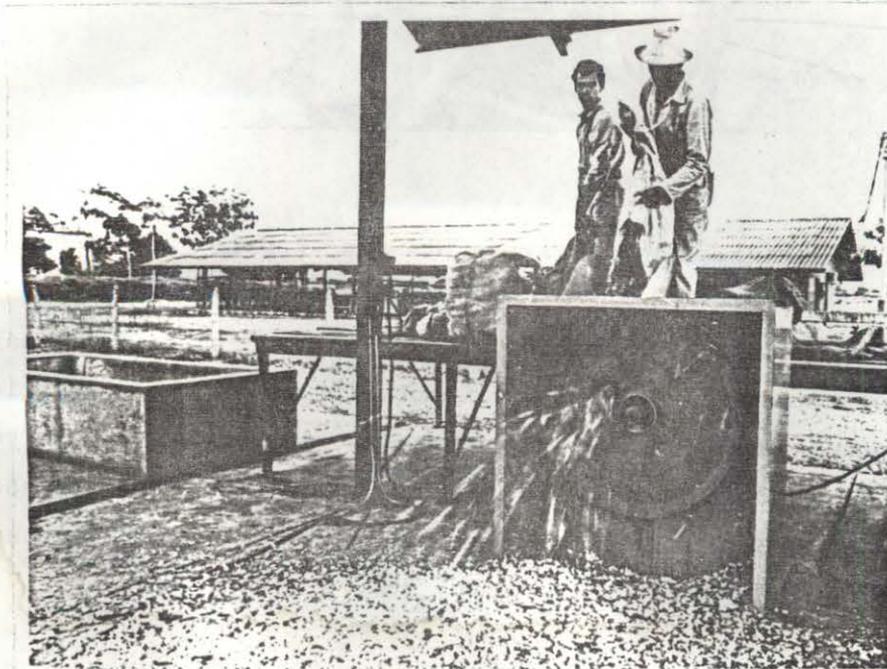


FIGURA 3. Máquina picadora tipo Malasia.

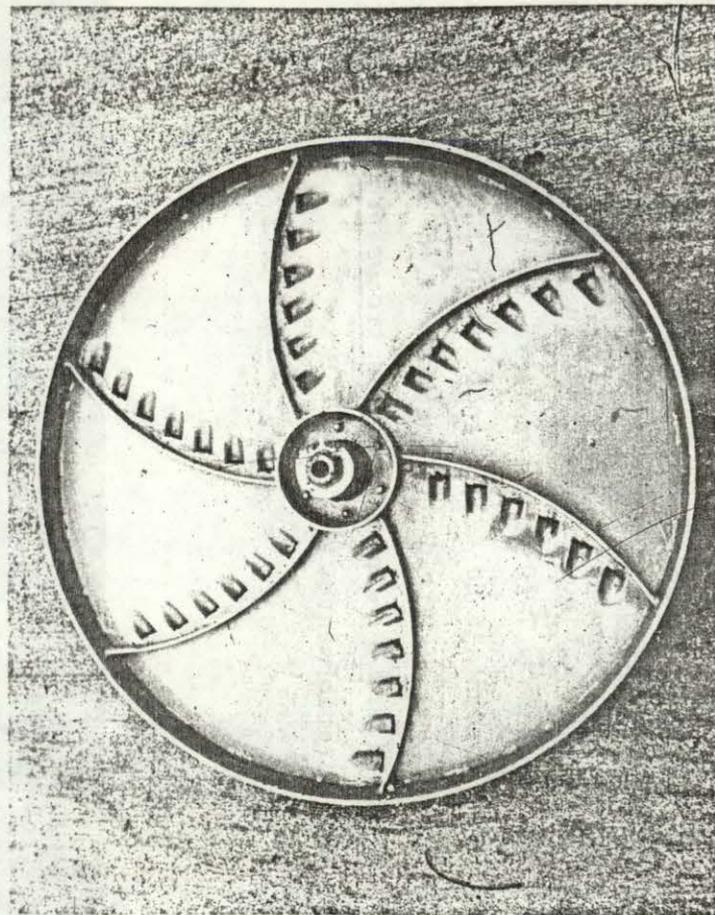
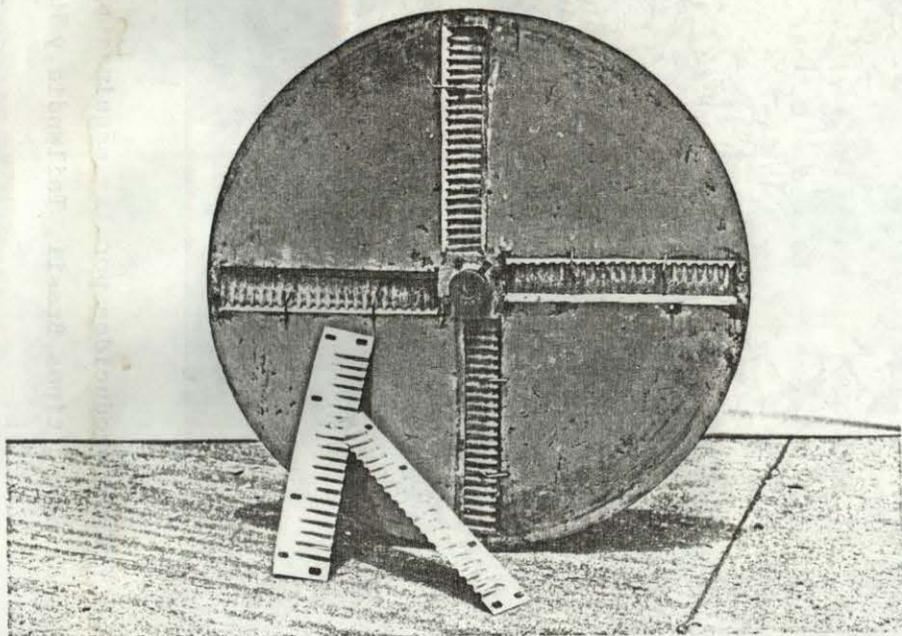


FIGURA 4. Discos de las máquinas picadoras tipos Malasia y Tailandia, respectivamente

La máquina tipo Tailandia es similar a la Malasia, pero el disco giratorio (Fig. 4) fabricado en lámina de 2 mm de espesor tiene seis filas de agujeros de 25 mm de diámetro con bordes filosos, que cortan la yuca en forma de tajadas. Este tipo de trozo tuvo un tamaño de 60-80 mm de longitud, 25-30 mm de ancho y 7-10 mm de espesor. La máquina produjo este trozo típico en un porcentaje de 42%; el porcentaje restante fue de trozo más corto y delgado y ripio en porcentajes de 34% y 24%, respectivamente. En la Figura 5 se presentan los trozos producidos por las máquinas descritas anteriormente.

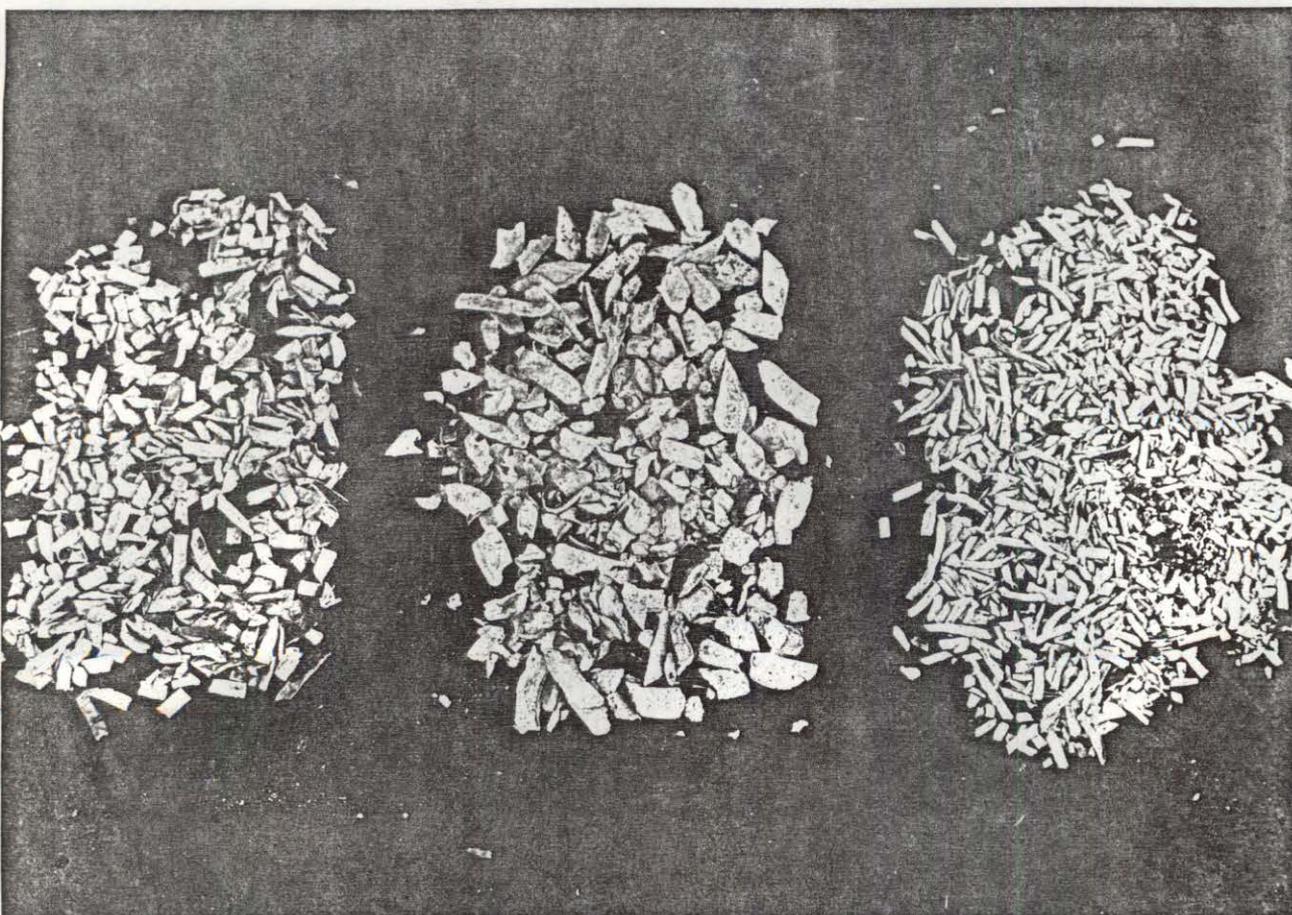


FIGURA 5. Trozos de yuca fresca producidos por las máquinas picadoras; de izquierda a derecha, tipos Brasil, Tailandia y Malasia.

### Sistema de secado

El estudio se llevó a cabo en el sistema de secado que se presenta en la Figura 6, conformado principalmente por tres componentes: un quemador de carbón con intercambiador de calor, un ventilador y una cámara de secado.

El quemador de carbón es de tiro natural, con una cámara de combustión cilíndrica de 1 m de alto por 45 cm de diámetro interno y 6 cm de espesor, construida en cemento refractario, y una parrilla estacionaria de hierro fundido de 31 cm de diámetro. El intercambiador de calor tiene una longitud de 110 cm, constituido por dos tubos concéntricos de 19 y 43 cm de diámetro. El tubo interior tiene 20 aletas longitudinales de 1/8 pulg. de espesor por 2 pulg. de altura en el lado interno y 40 aletas de 1/8 pulg. por 3 pulg. en el lado externo. Los gases de la combustión fluyen por el tubo interior y el aire de secado fluye por el anulo formado por los dos tubos concéntricos.

El ventilador centrífugo marca Dayton, referencia 3C073, que hizo circular el aire por todo el sistema es de aletas curvadas hacia atrás accionado por un motor eléctrico de 1 HP. El ventilador se conectó al quemador y a la cámara de secado por ductos de lámina de acero galvanizado.

La cámara de secado tiene un área de  $2 \text{ m}^2$  conformada por una lámina de acero galvanizado, calibre 22, perforada el 3% del área total con agujeros de 3 mm de diámetro, sobre la que se carga el material. La lámina está sostenida a 80 cm del piso por vigas de madera empotradas en las paredes de la cámara, y a través de ella y del producto fluye el aire de secado.

El caudal de aire se determinó con un tubo de Pitot, instalado de acuerdo con las recomendaciones del AMCA (ASHRAE, 1977) y un manómetro inclinado de 0-2.4 pulg. de columna de agua (c.a.) de  $\pm 0.02$  de precisión. Además, se midió la caída de presión en todo el sistema.

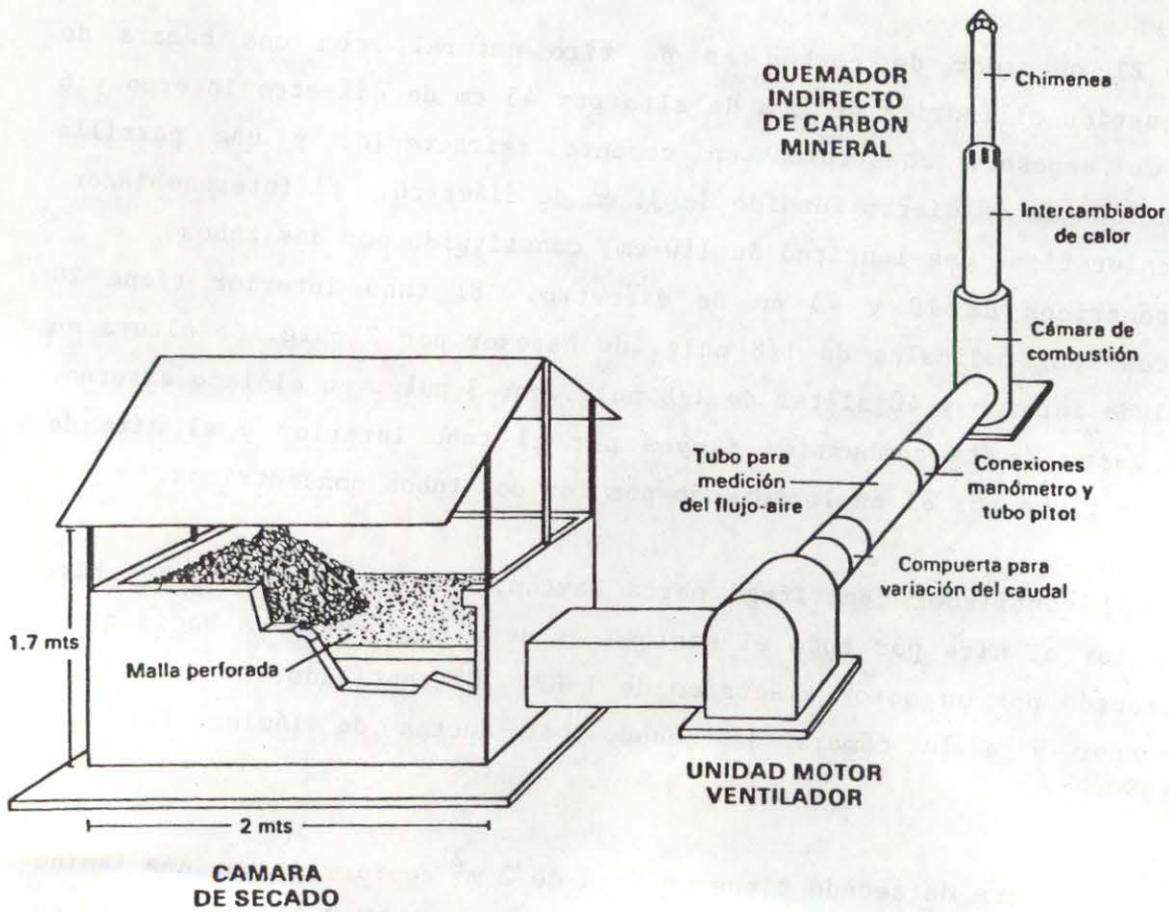


FIGURA 6. Secador artificial de capa fija con quemador de carbón para calentar el aire.

La temperatura del aire se midió en la cámara pleno con un termómetro de mercurio de 0-120°C y una precisión de  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

### Diseño experimental

El diseño experimental fue completamente al azar en un arreglo factorial de cuatro densidades de carga, (0.05, 0.10, 0.15 y 0.20 t de trozos frescos de yuca por metro cuadrado de superficie de secado) por tres tipos de trozos (Brasil, Malasia y Tailandia) con tres repeticiones por tratamiento. Se realizaron entonces un total de 36 pruebas, ejecutándose una prueba por día.

### Procedimiento

La operación del quemador de carbón se iniciaba media hora antes de cada prueba para garantizar una eficiente combustión y una temperatura del aire relativamente estable. En este tiempo se preparaba la yuca según la combinación carga-trozo programada y se alimentaba al secador. Antes de iniciar el secado se tomaba una muestra representativa del material para determinar el contenido de humedad inicial por el método directo del horno. Este método consistía en secar las muestras a 60°C durante 24 horas hasta alcanzar un peso constante.

Para lograr un secamiento uniforme, los trozos se volteaban aproximadamente cada dos horas para cargas de 0.05 y 0.10 t/m<sup>2</sup> y cada tres horas para cargas de 0.15 y 0.20 t/m<sup>2</sup>. Después de cada volteo se tomaban muestras representativas del material para determinar el contenido de humedad y hacer el seguimiento del secado.

La temperatura del aire en la cámara pleno y el gasto de carbón en el quemador se registraron cada 30 minutos. La presión total y estática se midieron cada 3 horas.

Al finalizar el secamiento, cuando los trozos secos se podían romper al presionarlos en la mano, se tomaba una muestra del material para hallar el contenido final de humedad y se registraba el tiempo total empleado en el secado.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En vista que los contenidos iniciales de humedad de los trozos oscilaron entre 57.5% y 72.5% b.h. (base húmeda), los resultados obtenidos se ajustaron para un contenido inicial de humedad de 57.5%, el menor valor, y un contenido final de humedad de 12.3% b.h. Con este ajuste, hecho por interpolación lineal entre los datos disponibles, se eliminó el efecto del contenido inicial de humedad sobre los tiempos de duración de las pruebas.

Los resultados promedios de las tres repeticiones realizadas para cada combinación de carga-trozo se listan en la Tabla 1. El tiempo de secado y el consumo de combustible sufrieron el ajuste del contenido de humedad mencionado anteriormente.

La temperatura del aire caliente en la cámara pleno del secador, osciló entre 56 y 64°C, variación normal para quemadores de carbón manejados manualmente. La caída de presión total del sistema varió entre 1.8 y 2.0 pulg. de c.a., y el caudal promedio de aire fue de 38 m<sup>3</sup>/min.

Análisis estadístico de los resultados

En la Tabla 2 se presentan las variables del experimento que pueden afectar el tiempo de secado con sus respectivos valores. La variable densidad de carga fue reemplazada por el caudal de aire aplicado por tonelada de trozos frescos de yuca cargados al secador. Este parámetro es función del caudal de aire suministrado por el ventilador en m<sup>3</sup>/min, la densidad de carga en t/m<sup>2</sup> y el área del secador en m<sup>2</sup>. Como el caudal suministrado por el ventilador y el área del secador se mantuvieron constantes, el caudal aplicado se relaciona directamente con la densidad de carga. Por lo tanto, las densidades de carga de 0.05, 0.10, 0.15 y 0.20 t/m<sup>2</sup> corresponden a caudales aplicados de 380, 190, 127 y 95 m<sup>3</sup>/min.t respectivamente.

Para establecer si las variables anteriores afectaron significativamente el tiempo de secado, se hizo un análisis de varianza en base a

TABLA 1. Resultados promedios del secado en capa fija de tres tipos de trozos de yuca

Carga de trozos		Tiempo de secado, h			Consumo de carbón, kg/t <sup>1/</sup>		
Densidad t/m <sup>2</sup>	Altura de la capa cm	Trozo Brasil	Trozo Malasia	Trozo Tailandia	Trozo Brasil	Trozo Malasia	Trozo Tailandia
0.05	8	3.0	3.0	3.7	510	510	555
0.10	15	4.3	3.5	4.5	340	310	360
0.15	27	6.2	6.6	5.8	290	310	270
0.20	35	7.7	8.7	8.0	240	270	250

Condiciones generales del ensayo:

Contenido inicial de humedad de los trozos = 57.5% b.h. (ajustado)

Contenido final de humedad de los trozos = 12.3% b.h.

Condiciones del aire:

Temperatura:  $60 \pm 4^{\circ}\text{C}$

Humedad relativa: 10%

Caudal:  $38 \text{ m}^3/\text{min}$

Area del secador:  $2 \text{ m}^2$

Número de repeticiones: 3

<sup>1/</sup> kg de carbón por tonelada de yuca seca (12.3% b.h.) producida.

TABLA 2. Variables que pueden influir sobre el tiempo de secado

Variable	Niveles	Valores
Tipo de trozo	3	Malasia, Tailandia, Brasil
Temperatura, °C	9	56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64
Caudal aplicado (m <sup>3</sup> /min.t)	4	380, 190, 127, 95

un diseño completamente al azar en un arreglo factorial de 3 trozos por 4 niveles de caudal aplicado con 3 repeticiones por tratamiento. Los principales resultados de este análisis se presentan en la Tabla 3, en donde se puede apreciar que el tipo de trozo, la interacción trozo-caudal y la temperatura del aire no ejercieron efectos significativos sobre el tiempo de secado. La única variable que influyó significativamente fue el caudal aplicado (Probabilidad  $PR > 0.01$ ).

Para corroborar los resultados anteriores, se descartó la temperatura del aire porque no tuvo efectos significativos y se repitió el análisis de varianza. De nuevo, el caudal aplicado fue la única variable que tuvo un efecto significativo sobre el tiempo de secado.

Para comparar las medias de los tiempos de secado para cada nivel de caudal aplicado se utilizó la prueba de rango múltiple de Duncan ( $PR > 0.05$ ). En la Tabla 4 se presentan los resultados de la prueba, que confirmaron la influencia significativa del caudal aplicado sobre la velocidad del secado.

#### Efecto del tipo de trozo

El tamaño y la forma de los tres tipos de trozos evaluados fueron diferentes, pero no ejercieron influencia significativa sobre el tiempo de secado en capa fija. Este comportamiento se puede explicar con base en el estudio hecho por Chirife (1971), quien encontró que la resistencia a la transferencia de masa externa y el efecto de la superficie interfacial de los trozos fueron despreciables. Según este autor, esto es debido a que los valores de las variables de operación de estos tipos

TABLA 3. Análisis de varianza de las variables que pueden afectar el tiempo de secado

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	PR	F
Trozo	2	0.36	0.7838	N.S. <sup>1/</sup>
Caudal aplicado	3	96.21	0.0001	**
Trozo x caudal aplicado	6	6.23	0.2699	N.S.
Temperatura	8	7.50	0.3224	N.S.

<sup>1/</sup> No significativo

\*\* Hay diferencia significativa al 1% (PR > 0.01)

TABLA 4. Comparación de los promedios de los tiempos de secado para cuatro niveles de caudal aplicado

Caudal aplicado m <sup>3</sup> /min.t	Tiempo medio de secado, h
95	8.1 a
127	6.2 b
190	4.1 c
380	3.2 d

Resultados obtenidos de nueve datos por cada nivel de caudal aplicado porque no se hizo diferencia entre los tres tipos de trozos estudiados. Tiempos medios con la misma letra no son significativamente diferentes.

de secadores, temperatura y caudal del aire, son relativamente altos, y a los bajos valores del coeficiente efectivo de difusión de la humedad, por lo que la resistencia superficial a la remoción de la humedad es despreciable en comparación con la resistencia interna de difusión.

Resultados similares fueron encontrados por Ospina y otros (1979), quienes compararon tres trozos de yuca en el secado artificial con un caudal de  $150 \text{ m}^3/\text{min.t}$  a  $28^\circ\text{C}$ , utilizando como medio de calentamiento un colector solar. Los trozos evaluados por estos autores fueron barras rectangulares de  $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ , rodajas cilíndricas de  $10 \text{ mm}$  de espesor y cubos de  $10 \text{ mm}$  de lado.

La irregularidad de los trozos y su alto contenido de humedad inicial, son factores que deben tenerse en cuenta cuando se quieran realizar secados con capas gruesas, debido a que se originan compactaciones que dificultan la circulación del aire. Este fenómeno se presentó con el trozo Malasia en las cargas de  $0.20 \text{ t/m}^2$  por lo que resultó un tiempo de secado un poco mayor que para el resto de los trozos.

La práctica de uniformizar la humedad de toda la capa de yuca por medio de un volteo de los trozos es otro factor que contribuye a hacer impenetrable el lecho del producto, debido a la destrucción del trozo causada por la herramienta utilizada. Las tiras finas producidas por la picadora Malasia, son frágiles y se fraccionan fácilmente. En cambio, los trozos tipo Brasil y Tailandia son más gruesos y soportan mejor la manipulación durante el mezclado. La regularidad de las barras rectangulares producidas por la trozadora brasilera mejoran la circulación del aire a través de los trozos porque la capa de yuca fresca presenta una estructura reticular más homogénea y estable. Esto también permite operar con alturas de capas mayores a  $30 \text{ cm}$  sin que esto ocasione compactaciones.

Con el fin de asegurar el secado de los trozos más gruesos producidos por la máquina Tailandia, todas las pruebas realizadas se prolongaron una hora aproximadamente, a pesar de que, en promedio, toda

la capa de yuca hubiera alcanzado la humedad final deseada. Esta práctica no se hizo necesaria para los trozos Malasia y Brasil, porque la uniformidad en sus tamaños aseguraron un contenido final de humedad homogéneo.

#### Efecto del caudal aplicado

La relación entre el caudal aplicado y el tiempo de secado es inversa y no lineal, por lo tanto, el aumento del caudal aplicado no disminuye el tiempo de secado en la misma proporción que el incremento del caudal. Para el caso del presente trabajo, la triplicación del caudal de 127 a 380 m<sup>3</sup>/min.t solo redujo a la mitad el tiempo de secado (6 a 3 horas). Relaciones similares fueron obtenidas por Chirife y Cachero (1970) cuando aplicaron caudales entre 1200 y 5000 m<sup>3</sup>/min.t a 84°C y luego por Webb y Gill (1974) para caudales entre 496 y 1030 m<sup>3</sup>/min.t con una temperatura promedio de 55°C.

El secado en corto tiempo demanda mayor consumo de combustible debido a los altos caudales aplicados de aire. El consumo de carbón mineral se elevó rápidamente cuando se emplearon tiempos de secado menores a 4 horas con caudales aplicados mayores a 200 m<sup>3</sup>/min.t. Para reducir el tiempo de secado en un 25% (de 4 horas a 3 horas) fue necesario elevar el consumo de carbón de 336 a 525 kg/tonelada de yuca seca (50%).

Los procesos de secado en sistemas artificiales de capa fija son moderadamente eficientes a bajos caudales, sin embargo, cuando los tiempos de secado se acortan (ver Tabla 5), la eficiencia de extracción del aire de secado baja notablemente. Lo anterior, unido al efecto grande que tiene la carga de arranque del quemador <sup>1/</sup> sobre el consumo de carbón por tonelada de yuca seca, explica el alto consumo relativo para los procesos más rápidos.

1/ Los quemadores de carbón mineral, al inicio de su operación, necesitan alimentarse con una carga de combustible 3 ó 4 veces mayor que la necesaria para el sostenimiento de la temperatura a un nivel deseado.

TABLA 5. Eficiencia del sistema de secado artificial en capa fija para trozos de yuca fresca

Caudal aplicado ( $m^3/min.t$ )	Tiempo secado (h)	Eficiencia del proceso de secado (%)	Eficiencia térmica del quemador (%)	Eficiencia global del sistema <sup>1/</sup> (%)
380	3.2	49.6	60.4	29.9
190	4.1	75.6	58.2	44.0
127	6.2	77.0	60.1	46.3
95	8.1	78.0	61.6	48.1

Contenido inicial de humedad de los trozos	57.5% (b.h.)
Contenido final de humedad	12.3% (b.h.)
Temperatura promedio ambiental	25°C
Temperatura aire secado	60°C
Capacidad calorífica del aire	0.24 kcal/kg.°C
Poder calorífico del carbón mineral	6800 kcal/kg
Calor latente de vaporización del agua en los trozos	630 kcal/kg de agua

<sup>1/</sup> La eficiencia global es el producto de la eficiencia del proceso de secado y la eficiencia térmica del quemador indirecto de carbón mineral.

La eficiencia del proceso de secado aumentó en la medida en que se redujo el caudal aplicado y el tiempo de secado fue más largo (Tabla 5). El incremento de la eficiencia fue notable cuando se disminuyó el caudal de 380 a 190  $m^3/min.t$ , pero el cambio fue pequeño cuando se bajó el flujo de aire a los niveles de 127 y 95  $m^3/min.t$ . Para caudales menores de 127  $m^3/min.t$ , la disminución del caudal se compensa con el incremento en el tiempo de secado y entonces la eficiencia crece solo un poco. La eficiencia térmica del quemador de carbón no presentó variaciones durante los ensayos de secado alcanzando un promedio de 60%, valor que coincide con los reportes de la literatura existente (Perry y Chilton,

1973). La eficiencia global del sistema artificial de capa fija no fue superior a un 50% en ninguno de los casos. Mejorar el comportamiento térmico de este sistema implicaría elevar los costos de inversión tanto del secador como del mismo quemador.

#### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los tres tipos de trozos, Brasil, Malasia y Tailandia no presentaron diferencias significativas en términos del tiempo y la eficiencia térmica del proceso de secado. Sin embargo, existen otros factores que deben tenerse en cuenta en la elección final del tipo de trozo. Las barras rectangulares producidas por la máquina Brasileña, por su homogeneidad en tamaño y sus dimensiones, tienen ciertas ventajas con respecto a los otros trozos. Presentan menor resistencia a los desplazamientos de la herramienta de volteo y menor cantidad de trozos dañados en la acción de mezclado; garantiza un secado más uniforme y permite llevar a cabo el secado con cargas hasta  $0.20 \text{ t/m}^2$  sin que el lecho se asiente. Por las propias características de los trozos tipo Malasia y Tailandia solo se recomiendan cargas máximas de 0.10 y 0.15  $\text{t/m}^2$ .

La selección del caudal a aplicarse en un sistema de secado artificial de capa fija con aire a  $60^\circ\text{C}$ , dependerá principalmente de la necesidad de realizar el proceso en un tiempo determinado. Los tiempos de secado menores de 6 horas con altos caudales hacen que el sistema sea poco eficiente y la operación costosa por el elevado consumo de combustible y la mayor inversión en quemadores y equipos de ventilación.

## REFERENCIAS

- ASHRAE Handbook. (1977). Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating Air-Conditionary Engineers, Inc., New York.
- Chirife, J. (1971). Diffusional process in the drying of tapioca root. *Journal of Food Science*. 36(2):327-330.
- Chirife, J., y Cachero, R.A. (1970). Through-circulation drying of tapioca root. *Journal of Food Science*. 35(4):364-368.
- Ospina, J.E., y Vasconcellos Rocha. J.L. (1979). Comparacao de tres formas de mandioca secadas em barcaca solar. En Congreso Brasileiro de Mandioca, Cruz Das Almas-BA, 1979. Anais, Bahia Brasil, EMBRAPA, Depto. de Informacao. pp.483-497.
- Perry, R.H., y Chilton, C.H. (1973). *Chemical engineer's handbook*, (3a. ed.) New York: McGraw-Hill.
- Thanh, N.C., Muttamara, S. and Lohani, B.N. (1978). Drying techniques for improvement of tapioca chips in Thailand. *Thai Journal of Agricultural Science*. 11:45-55.
- Webb, B.H., y Gill, K.S. (1974). Artificial heat drying of tapioca chips. *Malaysian Agricultural Research*. 3:67-76.