

Se investigó el secado artificial de trozos de yuca con aire caliente en un secador de capa fija utilizando cuatro fuentes de energía, solar captada mediante un colector plano, carbón mineral, gas propano y combustible diesel, y se comparó con el secado natural en pisos de concreto.

La evaluación del secado con el colector solar se hizo en la Costa Atlántica de Colombia durante la época seca del año. El colector de 30 m<sup>2</sup> de área absorbente, calentó un caudal de aire de 106 m<sup>3</sup>/min hasta una temperatura promedio de 36°C, pudiéndose aplicar caudales entre 78 a 141 m<sup>3</sup>/min por tonelada de trozos frescos de yuca para obtener tiempos de secado entre 3 a 2 días. Este sistema no resultó factible para el secado de yuca.

El empleo de los tres combustibles para calentar el aire en unidades conformadas por quemadores e intercambiadores de calor, permitieron operar con caudales aplicados de 130 y 190 m<sup>3</sup>/min por tonelada de trozos frescos y temperaturas de 50 y 60°C para obtener tiempos de secado entre 5.5 a 10h. De los combustibles utilizados, el secado con carbón mineral resultó en los menores costos tanto de inversión en equipos como de operación, seguido por el gas propano y el diesel.

Se hizo un análisis económico para un proyecto de producción de 538 t de yuca seca por año dentro de las condiciones de producción y comercialización de la yuca que existieron en la Costa Atlántica durante 1985. En este estudio se compararon el secado natural en pisos de concreto y el secado en capa fija con carbón mineral dentro de 4 alternativas de inversión. La primera opera 20 semanas de época seca al año con un secado natural. La segunda lo hace durante 35 semanas con el mismo sistema. La tercera opera 20 semanas con un secado natural y 30 semanas con un secado artificial. La cuarta opera 50 semanas con un secado artificial. Las rentabilidades calculadas mediante computador para las 4 alternativas fueron 26.4, 37.0, 12.6 y 12.4%, respectivamente. El empleo de un secador artificial y carbón mineral como fuente

energética resultaron rentables para la producción yuca seca durante todo el año.

LA INVESTIGACION EN EL SECADO ARTIFICIAL DE YUCA COMO APOYO AL  
DESARROLLO AGROINDUSTRIAL DE LA COSTA ATLANTICA DE COLOMBIA:  
EVALUACION DE VARIAS FUENTES DE CALOR

Existe un gran potencial en los países tropicales de América Latina para la utilización de la yuca seca en la alimentación animal y buenas perspectivas para su inclusión en la alimentación humana como fuente de calorías en productos elaborados con otras materias primas, tales como harinas compuestas para sopas y coladas, pan y pastas. Esto ha creado la necesidad de desarrollar métodos de secado eficientes y confiables con respecto a la calidad del producto, que sean técnica y económicamente factibles dentro de las condiciones socio-económicas de estos países en vías de desarrollo.

Entre los diferentes sistemas de secado, existen dos que, por requerir relativamente baja inversión y presentar simplicidad de manejo, despertaron interés y fueron considerados en los programas de investigación del Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. Estos son el secado natural y el secado artificial en capa fija.

En los años 70 se adaptó en el CIAT una tecnología para el secado natural de la yuca, que se está aplicando en la Costa Atlántica de Colombia a nivel comercial en un proyecto cooperativo con el Fondo de Desarrollo Rural Integrado, DRI, orientado hacia el establecimiento de pequeñas empresas campesinas que produzcan yuca seca para la alimentación animal. Actualmente existen 36 plantas con una capacidad de más de 6000 toneladas de yuca seca por año.

El secado natural es un método que depende completamente de las condiciones climáticas, lo que restringe su uso a las épocas lluviosas del año. Por lo tanto, con el objeto de prolongar el período de secado y posibilitar el suministro continuo de yuca seca se seleccionó un secador de capa fija con circulación artificial de aire caliente. Este sistema se evaluó utilizando diversas fuentes de calor tales como el diesel, gas propano, carbón mineral y un colector solar.

En este trabajo se presentan los resultados de esta evaluación y se discute el empleo del secado artificial con respecto a las condiciones actuales de producción y comercialización de la yuca en la Costa Atlántica y como alternativa para la producción de yuca seca destinada al consumo humano.

#### REVISION DE LITERATURA

El sistema de secado mas económico y utilizado por el hombre desde tiempos remotos es el secado natural. Este sistema fue investigado para el secado de la yuca, tanto en pisos de concreto como en bandejas verticales o inclinadas, durante la década de los 70 por diferentes autores, entre los que se destacan Roa (1974), Best (1978) y Thanh y otros (1979). Estos estudios permitieron entender mejor el efecto de los factores que más inciden en el proceso, tales como el estado de subdivisión de los trozos de yuca (tamaño y forma geométrica), la densidad de carga y las condiciones ambientales.

A pesar de las mejoras en las técnicas de secado natural y las ventajas que ofrece sobre el secado artificial en términos de costos de inversión y operación, es un método que no se puede utilizar en regiones donde las condiciones ambientales son desfavorables. En estos casos, el uso de secadores por tandas con aire ambiente o aire caliente o una combinación de ambos, en circulación directa a través de una capa o lecho fijo, es una alternativa económicamente más favorable para América Latina que el empleo de secadores artificiales continuos y de gran capacidad (Crown, 1981 y Freivalds, 1982).

Paralelamente a las investigaciones del secado natural, se han llevado a cabo estudios del secado en capa fija con miras a determinar los mejores parámetros de operación, altura de la capa, temperatura y velocidad del aire, para secar trozos de yuca. Chirife y Cachero (1970) hallaron que con capas de hasta 12 cm de altura no se reduce apreciablemente el tiempo de secado con flujos de aire por encima de  $5000 \text{ kg/h.m}^2$ , y la temperatura a la que los trozos se tuestan a bajos contenidos de humedad (menores del 35%) ocurre por encima de  $84^\circ\text{C}$ . Estos autores

también encontraron que no se presenta un periodo de velocidad constante y que el movimiento interno del agua contenida en los trozos es el mecanismo que controla el proceso desde el comienzo, resultado confirmado posteriormente por Webb y Gill (1974) y Akhtar (1978).

A una escala mayor, Rossi y Roa(1980) y Ospina (1980) experimentaron con un secador de  $15 \text{ m}^2$  de área, acoplado a un colector solar de  $100 \text{ m}^2$  de area absorbente, y usaron modelos matemáticos para determinar el mínimo caudal de aire que se debe aplicar cuando la temperatura y la humedad relativa son cambiantes. Reportaron que para capas de 30 cm de altura, el caudal aplicado vario entre 47.5 y  $102.5 \text{ m}^3/\text{min}$  por tonelada de trozos de yuca alimentados al secador, cuando la temperatura del aire fluctuó entre  $40^\circ$  y  $20^\circ\text{C}$  y la humedad relativa entre 25 y 55%.

Toh (1973) investigó el secado de pulpa rallada de yuca a varios niveles de temperatura, caudal de aire y densidad de carga, en un secador continuo de túnel. La pulpa previamente había sido secada hasta humedades de 50% (b.h.) en una filtroprensa. Para calentar el aire utilizó un quemador de kerosene. El consumo de combustible varió exponencialmente con la densidad de carga y aumentó con menor pendiente cuando se incrementó el caudal. Encontró que no es apropiado, para las condiciones del experimento, calentar aire a temperaturas mayores de  $70^\circ\text{C}$  por los altos consumos de combustible.

Con este mismo material, pulpa rallada prensada, Seng (1976) evaluó el empleo de un secador rotatorio y continuo. El combustible utilizado participó con el 55% en el costo total de operación; aún así, el empleo de este sistema podría competir en términos de costo con el secado tradicional al sol para las condiciones de Malasia, donde se desarrolló el estudio.

Un estudio de factibilidad económica para el establecimiento de una planta de secado artificial de trozos de yuca seca fue hecho por el Centro de Investigaciones en Tecnología de Alimentos CITA (1974) en Costa Rica; encontraron que el proyecto es factible, con rentabilidades del 11% sobre la inversión total y 16% sobre la inversión fija, operando con

una capacidad mínima de 10 t/h, durante 20 horas por día y 200 días por año. Con base en este estudio se montó la planta, la cual fracasó debido a su mala ubicación y a la incapacidad de la zona para suministrar la materia prima necesaria.

La información que se obtiene de los estudios mencionados es que los parámetros de control en el proceso para minimizar los costos de operación y obtener yuca seca de buena calidad, son el estado de subdivisión del material, la temperatura y el caudal aplicado de aire. Además, para que el proceso sea factible, se debe garantizar un suministro continuo y adecuado de la materia prima.

#### MATERIALES Y METODOS

El estudio experimental se llevo a cabo en dos fases. En la primera fase, se evaluó un secador de 6 m<sup>2</sup> acoplado a un colector plano de 30 m<sup>2</sup> de superficie absorbente de radiación solar. El secador y el colector se construyeron en el municipio de San Juan de Betulia, Departamento de Sucre (Costa Atlántica de Colombia).

La segunda fase se realizó en el CIAT, con dos secadores, uno de 2 m<sup>2</sup> y otro de 6 m<sup>2</sup> de áreas de secado, acoplados el primero a un quemador de carbón y el segundo, independientemente, a quemadores de gas propano y diesel.

Para la evaluación de los secadores con las fuentes de calor mencionadas, se varió la cantidad de trozos alimentados para lograr diferentes caudales aplicados por tonelada de trozos de yuca fresca. La temperatura del aire se relajó a los valores obtenidos con el colector y se fijó en 50 y 60°C para los combustibles utilizados.

#### Materiales

Las raíces de yuca, especie *Manihot esculenta* Crantz, fueron cosechadas entre los 8-10 meses de edad de cultivos experimentales. En la primera fase se empleo la variedad local Venezolana sembrada en la Costa

Atlántica y en la segunda fase se usó la variedad Manihoica P12 cultivada en el CIAT.

Las raíces de yuca fueron trozadas en el prototipo de máquina denominada Tailandia, que consistía de una estructura metálica con una tolva de alimentación y un disco vertical giratorio. El disco tenía 6 filas de agujeros de aproximadamente 25 mm de diámetro, que cortaban la yuca en forma de tajadas. En la Figura 1 se presenta la máquina picadora. Los trozos típicos producidos por esta máquina midieron 60-80 mm de longitud, 25-30 mm de ancho y 7-10 mm de espesor. Junto con el trozo típico se producen también trozos más pequeños y partículas finas o ripio. Los porcentajes obtenidos de toda la muestra se distribuyen en 42% para el trozo típico, 34% para trozos más pequeños y 24% para el ripio.

#### Descripción de los sistemas de secado

Para los ensayos de la primera fase, se utilizó el sistema presentado en la Figura 2, que consta de un secador de 6 m<sup>2</sup>, un ventilador centrífugo y un colector solar plano de 30 m<sup>2</sup>.

El secador era una cámara construida con materiales disponibles en la región, de 3 m de largo por 2 m de ancho. El área de secado era un piso falso conformado por láminas de acero galvanizado perforadas el 3% del área total con agujeros de 3 mm de diámetro. Las láminas, de 1 m x 2 m, se soportaron sobre vigas de madera a 60 cm del suelo.

El ventilador (marca Dayton, referencia 3C073) que hizo circular el aire por el sistema fue de aletas curvadas hacia atrás, accionado por un motor eléctrico de 1 hp.

El colector solar de 30 m<sup>2</sup> de superficie absorbente, se construyó sobre un piso de concreto de 6 cm de espesor, con paredes de bloques de concreto. Como medio absorbente de la radiación se emplearon láminas acanaladas de zinc pintadas de negro mate, colocadas dentro del colector entre el piso y una cubierta de plástico calibre 6, la que se soportó

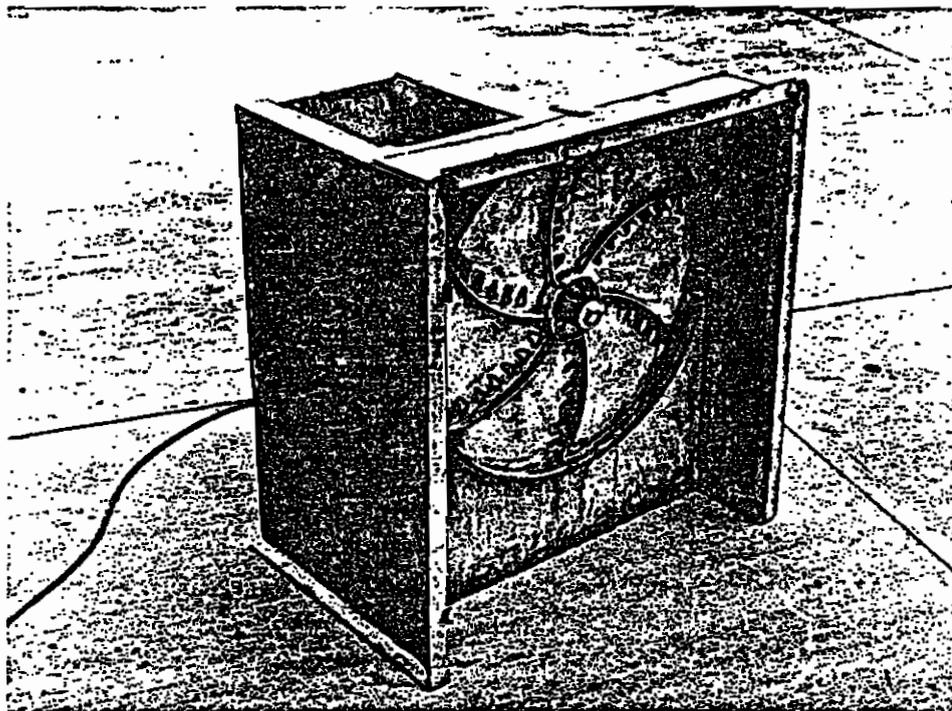


FIGURA 1. Máquina trozadora tipo Tailandia

sobre una estructura de marcos de madera y malla de alambre tipo gallinero, como se muestra en la Figura 2.

Para la segunda fase del experimento, realizada en el CIAT, se utilizaron los dos secadores, el de  $2 \text{ m}^2$  se acopló a través de un ventilador centrífugo (marca Dayton, referencia 3C073) con un conjunto quemador de carbón - intercambiador de calor. El quemador de carbón era de tiro natural, constaba básicamente de una cámara de combustión u hogar con parrilla estacionaria. El intercambiador de calor era de doble tubos concéntricos, con aletas longitudinales en ambos lados del tubo interior, por el cual fluyen los gases de combustión. El aire de secado circulaba por el anulo formado por los dos tubos. Este sistema se muestra en la Figura 3.

El secador de  $6 \text{ m}^2$  se acopló independientemente con dos unidades de calentamiento, una de gas propano y otra de combustible diesel <sup>1/</sup> (ACPM). La unidad diesel estaba conformada por un motor (marca Lister, modelo LT1) de 7.5 hp, acoplado directamente a un ventilador axial (marca Lister) y, mediante transmisión por correa, impulsaba un generador (marca Markon) de corriente eléctrica de 1.5 KVA, el cual proporcionaba la corriente necesaria para el funcionamiento del quemador de ACPM (marca Nu-Way Benson). La unidad de gas propano (marca Farm Fans, modelo 116SH) consistía de un ventilador axial y un quemador de gas. En las Figura 4 y 5 se presentan las unidades de calentamiento, a base de ACPM y gas, que se acoplaron al secador.

Los quemadores de carbón y ACPM calentaban el aire indirectamente, es decir, no se mezclaba el aire con los gases de combustión.

Los quemadores se conectaron con los secadores por medio de ductos de medición de caudal, instalados según las normas de AMCA (ASHRAE, 1977).

---

<sup>1/</sup> El aceite combustible diesel (fuel oil No.2) es llamado en Colombia ACPM, abreviatura de Aceite Combustible de Peso Medio.

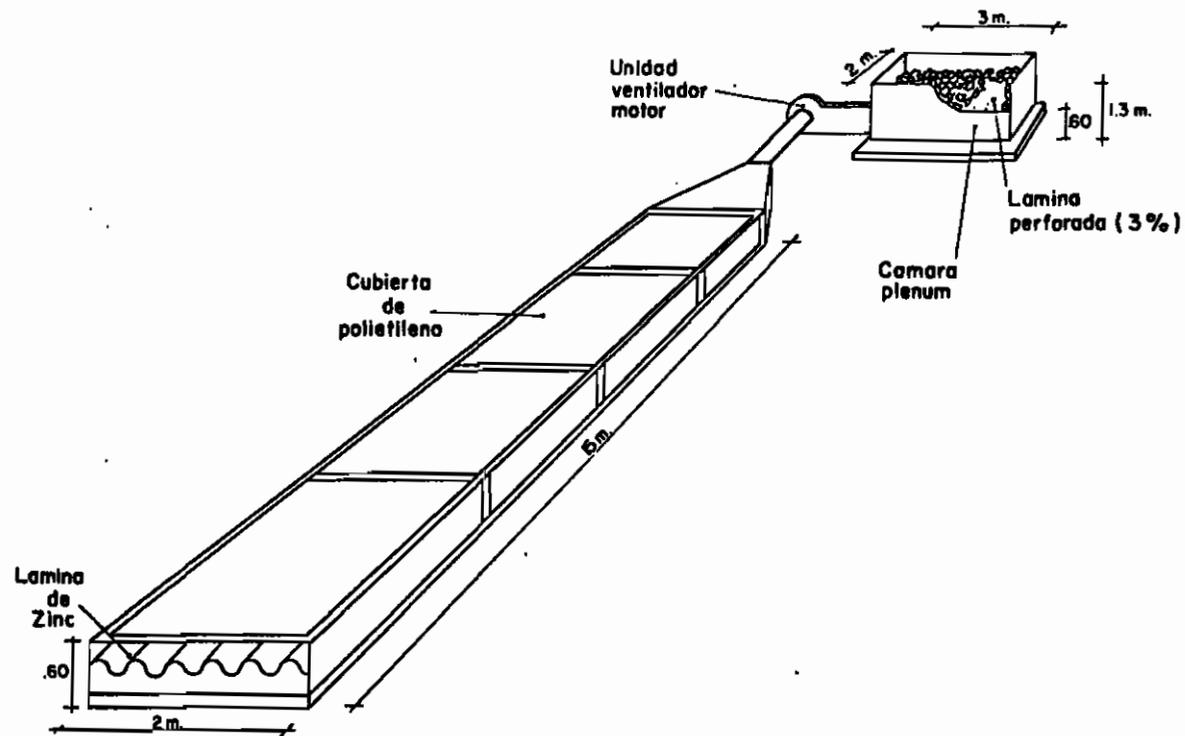


FIGURA 2. Secador de trozos de yuca que emplea un colector solar para calentar el aire.

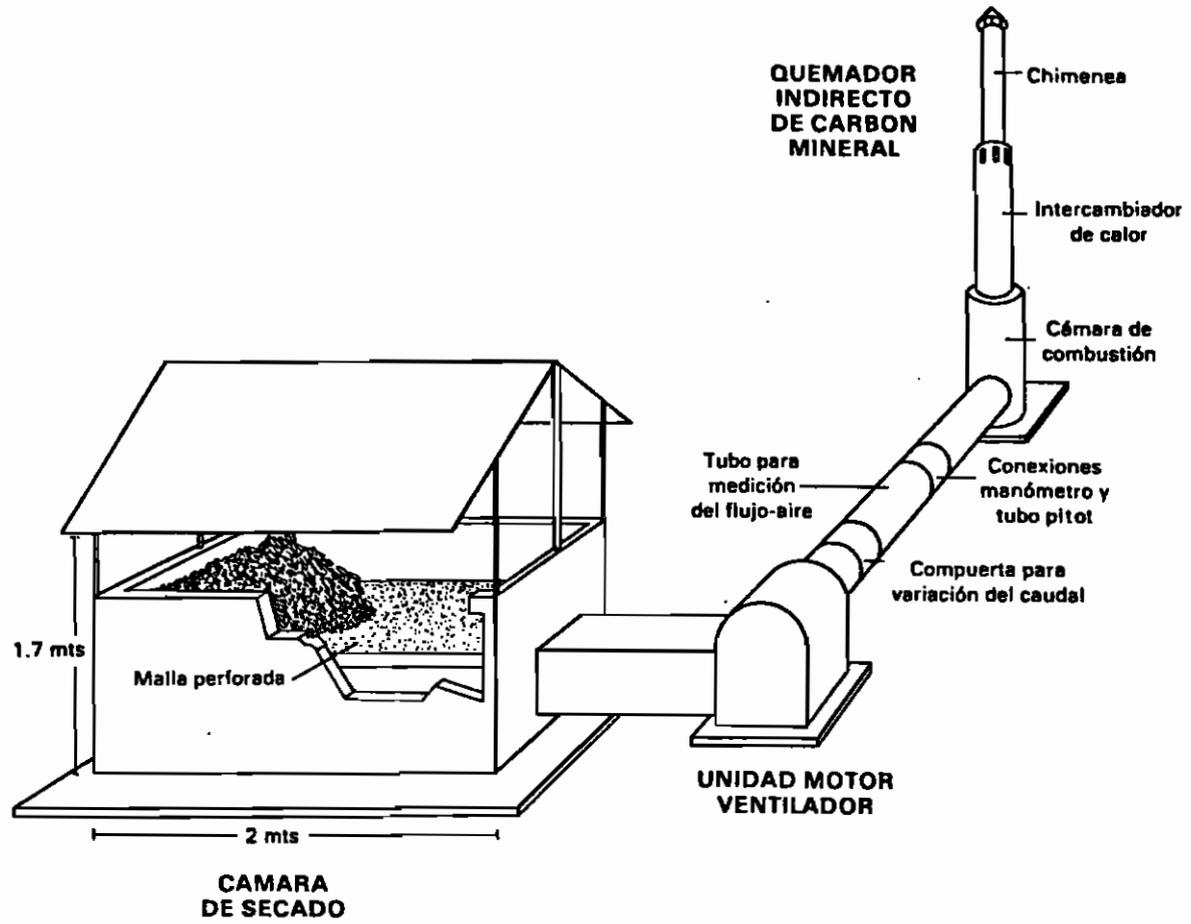


FIGURA 3. Secador artificial de capa fija con quemador de carbón para calentar el aire.

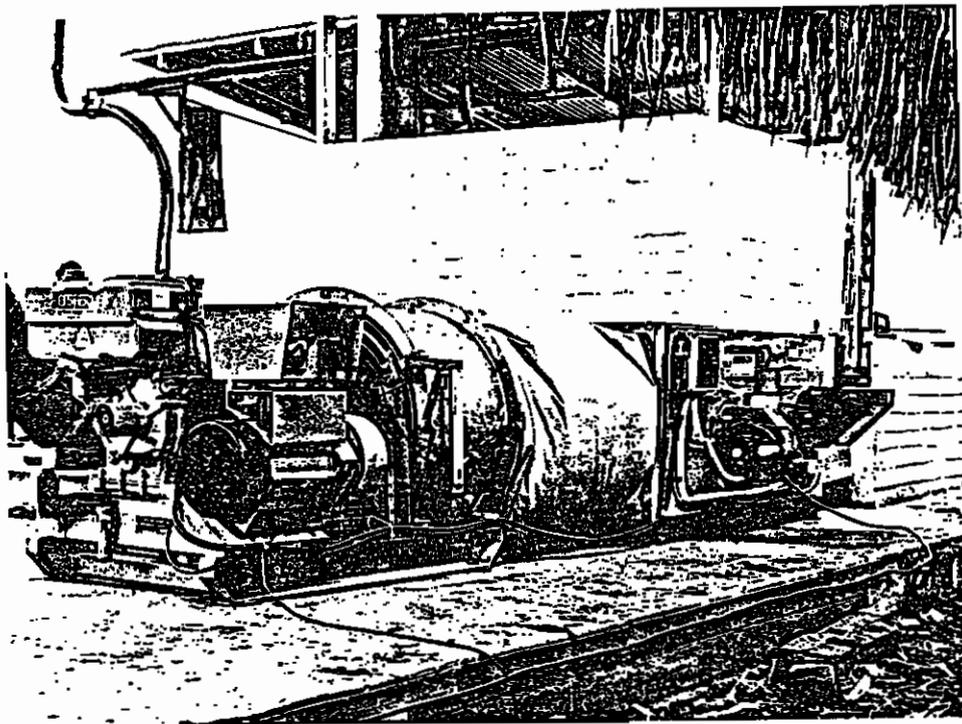


FIGURA 4. Sistema de calentamiento diesel acoplado a un secador de capa fija.

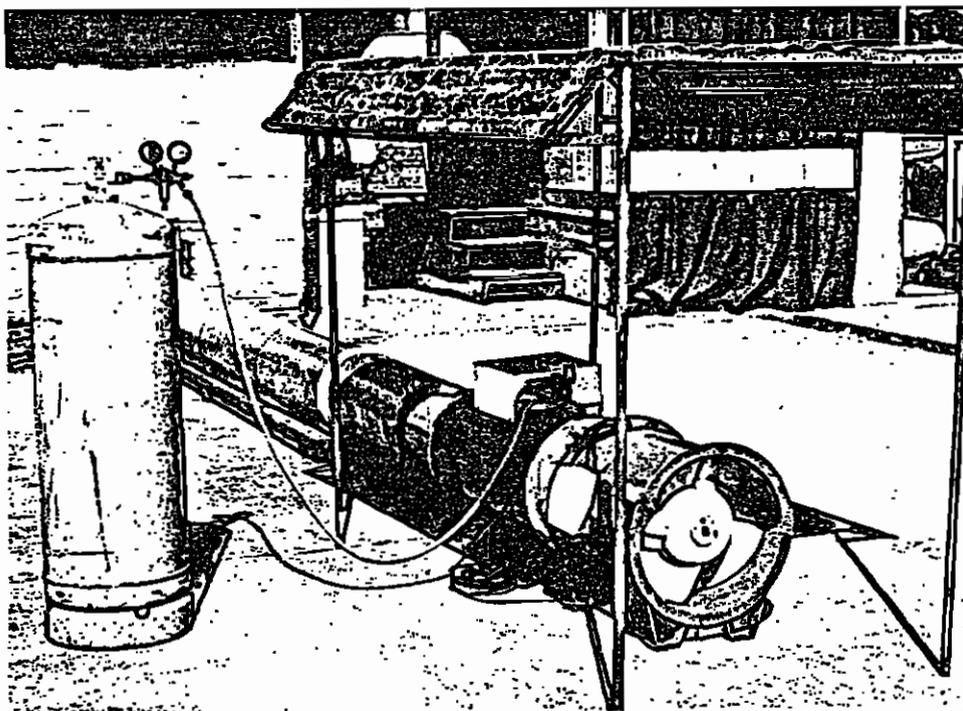


FIGURA 5. Sistema de calentamiento a base de gas propano acoplado a un secado de capa fija.

El caudal del aire se determinó con un anemómetro de aletas, un tubo de pitot y un manómetro inclinado de escala 0-2.4 pulg. de agua y precisión de  $\pm 0.02$ . En la cámara pleno de los secadores se midió la temperatura del aire con un termómetro de mercurio de 0-120°C y precisión de  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Evaluación del secado artificial con colector solar

El período en el que se hizo el estudio con el colector solar comprendió entre febrero a marzo de 1984. Los resultados se clasificaron en dos grupos. El primer grupo contiene la evaluación del comportamiento del colector solar y el segundo, la capacidad del secador cuando se utilizó el colector como elemento de calentamiento del aire.

Los resultados de la evaluación del colector se presentan en la Tabla 1. El período de operación del colector cada día fue desde las 7:00 hasta las 19:00 horas, y calentó un caudal de  $106 \text{ m}^3/\text{min}$  hasta una temperatura promedio de  $36^\circ\text{C}$ . La temperatura inicial del aire ambiente fue en promedio de  $31^\circ\text{C}$ . La humedad relativa del aire tuvo un descenso desde 62% hasta 46%. La eficiencia del colector, definida como la razón entre las cantidades promedios de energía ganada por el aire y la energía de radiación solar incidente, resultó de 63%, valor normal, según Rossi y Roa (1980), para este tipo de colectores.

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos cuando se acopló el secador al colector solar. Al aplicar diversos caudales, se obtuvieron diferentes tiempos de secado, los que se expresan en horas netas durante períodos entre las 7:00 a las 20:00 horas, y en días, incluyendo las horas de la noche en las que se suspendió el proceso. El número de tandas por semana que se pueden secar, de acuerdo con el tiempo de secado, se determinaron sobre la base de que no se procesan nuevas tandas cuando la anterior termina después del medio día. Esto porque no se garantiza la calidad final del producto por problemas de deterioración o porque los trozos, cuando se secan con interrupciones y

TABLA 1. COMPORTAMIENTO DE UN COLECTOR SOLAR PLANO DE 30 m<sup>2</sup> DE SUPERFICIE ABSORBENTE <sup>a/</sup>

| <u>Aire ambiente</u> |                          |  |  |                                    |                                 |
|----------------------|--------------------------|--|--|------------------------------------|---------------------------------|
| Temperatura<br>°C    | Humedad<br>relativa<br>% | Radiación<br>solar<br>cal/cm <sup>2</sup> .min | Caudal<br>de aire<br>m <sup>3</sup> /min | Incremento de<br>temperatura<br>°C | Eficiencia<br>del colector<br>% |
| 31                   | 62                       | 0.62   | 106                                      | 5                                  | 63                              |

Valores promedios de 43 días de observaciones entre las 7:00 a las 19:00 horas.

<sup>a/</sup> Superficie absorbente conformada por láminas acanaladas de zinc pintadas de negro mate, por debajo de una cubierta de polietileno.

TABLA 2. EFECTO DEL CAUDAL APLICADO SOBRE EL TIEMPO DE SECADO Y LA CAPACIDAD DE UN SISTEMA ARTIFICIAL DE CAPA FIJA ACOPLADO A UN COLECTOR SOLAR PLANO

| Caudal<br>aplicado<br>$m^3/min.t$ | Tiempo de secado    |                        | Capacidad por semana |                 |
|-----------------------------------|---------------------|------------------------|----------------------|-----------------|
|                                   | Neto <u>a/</u><br>h | Real <u>b/</u><br>días | Tandas               | Yuca seca<br>kg |
| 78                                | 41                  | 3.2                    | 1.5                  | 810             |
| 88                                | 42                  | 3.3                    | 1.5                  | 720             |
| 101                               | 29                  | 2.2                    | 2                    | 840             |
| 118                               | 26                  | 1.6                    | 3                    | 1,077           |
| 141                               | 20                  | 1.3                    | 3                    | 480             |

Valores promedios de 3 repeticiones por nivel de caudal aplicado.

Condiciones generales del ensayo:

- Humedad de los trozos de yuca (% b.h.)  
     Inicial:  $64.5 \pm 2\%$   
     Final: 12.3 % (interpolado)
- Condiciones del aire:  
     Temperatura :  $36 \pm 2^\circ C$   
     Humedad relativa:  $43.5 \pm 6.5\%$   
     Caudal:  $106 m^3/min$
- Radiación solar ( $cal/cm^2.min$ ):  $0.60 \pm 10\%$

a/ Período de secado por día: 7:00 - 20:00

b/ Incluye las horas nocturnas durante las cuales se suspendió el secado.

no se reduce el contenido de humedad a niveles por debajo del 35% b.h. en el primer día, presentan al final un color amarillento indicativo general de un mal procesamiento y de mal aspecto. Lo mismo sucede cuando el tiempo de secado se prolonga a más de 2 días.

Aunque es posible operar después de las 20:00 horas, no se consideró porque la reducción del contenido de humedad a las bajas temperaturas que se obtuvieron con el colector no justificó el gasto de energía eléctrica.

De acuerdo con la Tabla 2, se obtuvo la mayor capacidad por semana cuando se aplicó un caudal de  $118 \text{ m}^3/\text{min.t.}$

En la Tabla 3 se presentan los costos de inversión y producción de un sistema natural y uno artificial con colector solar. Como se puede ver, el sistema artificial es de mayor costo inicial por la unidad motor ventilador y de mayor costo de producción por la reposición del plástico y consumo de energía eléctrica; por lo tanto, no compite con el sistema natural y, además, no es un sistema independiente de las condiciones ambientales.

El empleo de un colector solar para secar artificialmente yuca, un producto de humedades iniciales altas (60-65% b.h.), a las temperaturas relativamente bajas que se obtienen (34-38°C), requiere caudales altos; lo que incide en los tamaños del colector y ventilador, limitando la capacidad del sistema a no más de 2.5 a 3 t de producto seco por tanda.

#### Evaluación del secado artificial con tres combustibles

En la Tabla 4 se presentan los resultados que se obtuvieron cuando se realizó el secado artificial con tres combustibles disponibles, carbón mineral, gas propano y diesel, la eficiencia global del proceso para las diferentes condiciones de operación y los costos de operación debido al empleo del combustible. Con los caudales aplicados y los niveles de temperatura dados se puede secar trozos de yuca hasta un contenido de humedad de 12.3% (b.h.) entre 5.5 a 10 horas, dentro de una jornada

TABLA 3. COSTOS DE INVERSION Y PRODUCCION DE DOS SISTEMAS DE SECADO CON CAPACIDAD DE 2.4 TONELADAS DE TROZOS SECOS DE YUCA POR TANDAS (1985)

| SISTEMA  | COSTOS              |                       |
|--|---------------------|-----------------------|
|  | INVERSION<br>Col.\$ | PRODUCCION<br>Col\$/t |
| 1. Natural sobre pisos concreto (500 m <sup>2</sup> )  | 330,500             | 23,580                |
| 2. Artificial capa fija y colector solar <sup>a/</sup> | 1,020,000           | 24,950                |
| Diferencia   | 689,500             | 1,370 <sup>b/</sup>   |

<sup>a/</sup> Costos de los elementos del sistema: Cámara (30 m<sup>2</sup>): \$200,000; colector solar: \$220,000; motor ventilador: \$600,000.

<sup>b/</sup> La diferencia se debe a la reposición del plástico y consumo de energía eléctrica en el secado artificial.

normal de trabajo. El consumo de combustible, fue mayor para carbón y menor para gas propano, en orden creciente a las eficiencias térmicas de los quemadores. Se observa también que cuando se aumenta la temperatura o el caudal aplicado se reduce el tiempo de secado a expensas de un mayor consumo de combustible y, por ende, a un costo más alto.

La mayor eficiencia se alcanza con el gas propano, seguido por el diesel y el carbón, entre los que no hay diferencia apreciable. La mayor eficiencia con el propano se debe a que el calentamiento del aire fue directo, mezcla de aire con gases de la combustión.

A pesar de que el secado con carbón presentó menor eficiencia y mayor consumo, resulta el menor costo de operación debido a su relativamente bajo precio por kg. Se observa que a caudales y temperaturas

TABLA 4. EFECTO DE LA TEMPERATURA Y EL CAUDAL APLICADO SOBRE EL TIEMPO Y EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN EL SECADO ARTIFICIAL DE YUCA CON TRES DIFERENTES FUENTES DE CALOR

| Temperatura del aire <u>a/</u><br>°C | Caudal aplicado<br>m <sup>3</sup> /min.t <u>b/</u> | Tiempo neto<br>secado<br>h | Consumo de combustible <u>c/</u> |                 |                 | Eficiencia global |              |             | Costos, \$Col/t <u>c/</u> |         |        |
|--------------------------------------|--|----------------------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|--------------|-------------|---------------------------|---------|--------|
|                                      |  |                            | Carbón mineral<br>kg/t           | Gas             |                 | Carbón<br>%       | Gas          |             | Carbón                    | Gas     |        |
|                                      |  |                            |                                  | Propano<br>kg/t | Diesel<br>gal/t |                   | propano<br>% | Diesel<br>% |                           | Propano | Diesel |
| 50                                   | 130  | 10.0                       | 250                              | 105             | 65              | 38                | 70           | 36          | 1,625                     | 3,150   | 7,150  |
|                                      | 190  | 7.5                        | 390                              | 110             | 70              | 32                | 72           | 36          | 2,535                     | 3,300   | 7,750  |
| 60                                   | 130  | 7.5                        | 300                              | 100             |                 | 35                | 65           |             | 1,950                     | 3,000   |        |
|                                      | 190  | 5.5                        | 550                              | 130             |                 | 25                | 54           |             | 3,575                     | 3,900   |        |

Promedios de 3 valores por tratamiento.

- . Temperatura promedio del aire ambiente: 26°C
- . Humedad de los trozos de yuca (% b.h.): Inicial: 61 ± 2; Final: 12.3 (interpolado)
- . Poder calorífico de los combustibles (kcal/kg): carbón: 6,700; gas propano: 14,000; Diesel: 41,000
- . Eficiencias de los quemadores (%): Carbón: 60 ± 5; Gas propano: 95 ± 2; Diesel: 76 ± 2.
- . Precios de los combustibles para 1985: Carbón: \$6.5 por kg; gas propano: 30.0 por kg; Diesel; \$110,00 por galón

a/ El sistema de calentamiento diesel solo proporcionó temperaturas de 50°C.

b/ Se refiere a toneladas de trozos de yuca fresca.

c/ Se refiere a toneladas de trozos de yuca seca.

TABLA 5. COSTOS DE EQUIPOS PARA COMBUSTION DE ACPM,  
PROPANO Y CARBON CON UNA CAPACIDAD DE  
70,000 KCAL POR HORA. 1985.

| SISTEMA | COSTO DE INVERSION<br>COL.\$ |
|---------|------------------------------|
| Carbón  | 470,000                      |
| Diesel  | 1,225,000                    |
| Propano | 645,000                      |

mayores, se obtienen los más altos costos de operación y la diferencia entre el carbón y el gas propano es mínima, por lo que la elección entre ellos se debe basar en la disponibilidad del combustible y en el costo de los equipos de combustión y calentamiento. En la Tabla 5 se presentan estos costos, en los que se incluyen los quemadores, intercambiadores, ventiladores y controles que conforman cada unidad. El resultado final continúa favoreciendo la opción de carbón mineral, que presenta menores costos tanto de inversión como de operación.

#### Análisis económico

En vista de que los quemadores de carbón como equipos de transferencia de calor en los secadores artificiales presentan ventajas sobre el gas propano o diesel, se hace un estudio económico de 4 alternativas de inversión que nacen de acuerdo con las condiciones actuales de producción y comercialización de la yuca seca en la Costa Atlántica, donde se está afianzando la tecnología de la yuca seca. Los datos de costos se expresan en pesos colombianos para 1985.

Los principales supuestos para este análisis se presentan a continuación:

- (1) Capacidad de producción: se determinan de acuerdo con la capacidad de una planta modelo de la Costa Atlántica, que se estima en 538 t de yuca seca por año.

- (2) Precio de la materia prima: \$8,000 por tonelada de yuca fresca, valor reportado por las plantas de secado durante la operación del año 1985.
- (3) Factor de conversión de yuca fresca a seca de 2.5; es decir, se requiere 2.5 toneladas de yuca fresca para producir 1 tonelada de yuca seca.
- (4) Precio de venta por tonelada de yuca seca al 12.3% bh: \$27,200 (85% del precio del sorgo en 1985).
- (5) Consumo de carbón de 450 kg/t de yuca seca y precio de compra a \$6.5 por kilo.
- (6) Días laborables por semana: 6
- (7) Métodos de secado:
  - Secado natural en pisos de concreto
  - Secado artificial en capa fija y aire calentado a 60°C con carbón mineral.

Los precios para la yuca fresca y seca varían durante la vida útil de proyecto, pero para el análisis se asumen en moneda constante, es decir, son deflecionados por el mismo índice.

En la Tabla 6 se describen las 4 alternativas de inversión que se consideraron. La primera de ellas corresponde a una planta modelo de la Costa Atlántica, que opera durante el verano entre los meses de Diciembre a Abril, un total de 20 semanas por temporada al año.

La alternativa 2 es igual a la alternativa 1 pero opera 15 semanas más, durante los períodos de transición de invierno a verano y verano a invierno, o en regiones donde el verano se prolonga un poco más, como sucede en los departamentos del noreste de la Costa Atlántica, o se presenta un veranillo.

TABLA 6. DESCRIPCION DE LAS ALTERNATIVAS DE INVERSION

| Alternativa  | 1  | 2  | 3   | 4  |
|--|--|--|---|--|
| Método de secado   | Natural  | Natural  | Natural/<br>Artificial  | Artificial                               |
| Período de operación anual (semanas)                           | 20   | 35   | 20/30   | 50                                       |
| Especificación del sistema de secado                           | Secado en piso de concreto de 2,000 m <sup>2</sup> | Secado en piso de concreto de 1,300 m <sup>2</sup> | Secado en piso de concreto de 1,000 m <sup>2</sup> /<br>Secador de capa fija de 20 m <sup>2</sup> | Secado en capa fija de 20 m <sup>2</sup> |
| Capacidad máxima de procesamiento de yuca fresca por tanda (t) | 24   | 13   | 12/4  | 4  |

TABLA 7. COSTOS DE INVERSION Y CAPITAL DE TRABAJO PARA 4 ALTERNATIVAS DE INVERSION EN 1985

| Alternativa                | 1         | 2         | 3         | 4         |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Inversión inicial, Col.\$  | 3,097,900 | 2,283,600 | 3,503,100 | 2,537,600 |
| Capital de trabajo, Col.\$ | 2,152,000 | 1,232,000 | 860,800   | 860,800   |

La alternativa 3 opera durante 50 semanas por año, 20 semanas con un sistema de secado natural en piso de concreto y 30 semanas de época lluviosa con un secado artificial en capa fija. Por último, la alternativa 4 también opera durante 50 semanas por año pero empleando un secado artificial.

La inversión en equipos (máquinas picadoras, secadores y motores) y herramientas del proceso, y capital de trabajo se presentan en la Tabla 7. El capital de trabajo se estimó como el dinero necesario para captar materia prima durante un mes de operación y varía para cada planta debido a que los períodos de operación por año son diferentes y la capacidad de producción es igual, por lo que unas manejan mayores volúmenes de yuca fresca por mes que otras.

En la Tabla 8 se presentan los costos de producción expresado por tonelada de yuca seca producida. El costo de procesamiento comprende la mano de obra, mantenimiento, consumos de energía eléctrica y carbón.

Con respecto a la inversión, presenta menor valor la alternativa 4 pero implica los más altos costos de operación.

Con los datos tabulados se hizo el cálculo de la rentabilidad o tasa de interés, igualando el valor presente de los ingresos al valor presente de los egresos. El cálculo se realizó utilizando un computador personal.

Las cuatro alternativas resultaron económicamente factibles, con rentabilidades de 26.4, 37.0, 12.6 y 12.4% para las alternativas 1, 2, 3 y 4, respectivamente. La alternativa 2 es la más rentable porque logra utilizar las instalaciones durante un período más amplio a bajos costos de operación e inversión.

Los datos económicos del análisis son válidos para la temporada de verano, en la que se produce y hay oferta de yuca seca. En épocas de invierno la producción de yuca seca es nula debido al actual empleo de un secado natural, por lo que el precio sube y puede llegar hasta

TABLA 8. COSTOS DE PRODUCCION POR TONELADA DE YUCA SECA PARA 1985  
Col.\$/t

| Alternativa                    | 1             | 2             | 3             | 4             |
|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Materia prima<br>(yuca fresca) | 20,000        | 20,000        | 20,000        | 20,000        |
| Procesamiento                  | 3,580         | 3,580         | 5,320         | 6,500         |
| <b>TOTAL</b>                   | <b>23,580</b> | <b>23,580</b> | <b>25,320</b> | <b>26,500</b> |

\$37,000 por tonelada, o aún más, siempre que se mantengan restringidas las importaciones de sorgo y haya escasez de éste en el mercado. Es razonable esperar que, cuando haya oferta de yuca seca todo el año, el precio tienda a estabilizarse hasta un punto de equilibrio entre la oferta y la demanda, o se hagan acuerdos para estabilizarlo, motivo por el que se consideró el mismo precio para todas las alternativas, a pesar de que operan en diferentes temporadas del año.

Por otro lado, el precio de captación de la yuca fresca va a sufrir variaciones de la época seca a la lluviosa, por dificultades de cosecha, recolección y transporte, o por escasez. A pesar de que la materia prima es el renglón que más incide en los costos de producción, también se consideró el mismo precio en el análisis de las 4 alternativas porque no se tiene información para predecir un precio confiable durante época de lluvias. Sin embargo, se sugiere que para hacer rentable un proyecto de producción o expansión de capacidad a todo el año, la planta de secado, además de estar ubicada en la región de producción de yuca fresca, debe fomentar o desarrollar infraestructura y poseer cultivos propios para garantizar el suministro de materia prima a un precio estable.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La oportunidad de evaluar la tecnología de producción de yuca seca mediante la creación de una agroindustria en la Costa Atlántica, ha permitido introducir mejoras al proceso que no se hubiesen podido lograr si el trabajo se queda tan solo a nivel experimental. Estas mejoras se han manifestado en la disminución de los costos de producción con el consecuente aumento en las utilidades del proyecto.

La existencia de producción de yuca seca y su utilización como fuente de calorías para sustituir ciertos cereales, especialmente sorgo, en la alimentación animal, ha generado una demanda creciente en el mercado. Satisfacer esta demanda implica desarrollos tanto en la producción como en el procesamiento de la yuca. En el área de producción, es necesario aumentar los rendimientos por hectárea y la tierra cultivada. Esto permitirá producir yuca para el mercado fresco, que paga mejores precios, y para la industria de la yuca seca.

En el campo del procesamiento, el empleo de un sistema de secado natural obliga a trabajar durante la época seca del año o a procesar volúmenes grandes en este período para distribuir el producto durante el resto del año, con el aumento en los costos de inversión a que esto conlleva, debido al aumento de capacidad y al almacenamiento. En cambio, el uso de un secador artificial de capa fija y carbón mineral como fuente de energía, resulta la mejor alternativa para posibilitar la oferta de yuca seca todo el año; además, permite mejorar la calidad del producto, lo que puede ser una ventaja si se pagan incentivos por la calidad o se comercializa este producto para la alimentación humana, donde se puede lograr mejores precios de venta.

Dentro de las condiciones del estudio hecho, los dos sistemas, natural o artificial, son opciones rentables. El método natural ofrece mayores utilidades que el artificial porque presenta los menores costos de inversión y operación; sin embargo, son dos alternativas de operación que se pueden complementar para lograr aumentos en la capacidad productiva.

El empleo de un colector solar en el secado artificial de yuca no es factible debido a la demanda de energía para evaporar la gran cantidad de agua que contiene la yuca fresca, lo que no se puede suministrar con las temperaturas que se obtienen con este sistema.

Se recomienda hacer un estudio de sensibilidad para establecer el efecto del precio de la materia prima, el precio de venta, el factor de conversión de yuca fresca a yuca seca y el consumo y precio del carbón sobre la rentabilidad de un proyecto de producción de yuca seca cuando se emplea alternativamente un secado natural y artificial.

#### BIBLIOGRAFIA

Akhtar, J. (1978). Drying of cassava with heated air. Asian Institute of Technology, AIT, Tesis No. AE-78-5, 47 p.

Ashrae Handbook (1977). Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating Air-Conditionary Engineers, Inc., New York.

Best, R. (1978). Cassava processing for animal feed. En Cassava Harvesting and Processing: Proceedings of Workshop held at CIAT, Cali, Colombia, 24-28 April 1978. Ottawa. IDRC-114e, p 12.20.

Centro de Investigaciones en Tecnología de Alimentos (CITA) (1974). Estudio de factibilidad agrícola e industrial para el establecimiento de una planta de chips secos de yuca en San Carlos. San José, Costa Rica.

Chirife, J. y Cachero, R.A. (1970). Through-circulation drying of tapioca root. Journal of Food Science. 35 (4), 364-368.

Crown, F. (1981). White elephant tales: Venezuela's cassava processing plants. Agribusiness Worldwide. Diciembre 1980/Enero 1981. 24-29.

- Freivalds, J. (1982). Farm fiction: the feasibility studies for cassava production and processing in Espiritu Santo, Brasil. *Agribusiness Worldwide* 3, (6), 10-13.
- Ospina, V.E. (1980). Quantificao da deterioracao de mandioca durante a secagem em barcaca por convecao forcada de ar aquecido com colector solar. Tesis de Maestria, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, 100 p.
- Roa, G. (1974). Natural drying of cassava. Ph.D. Tesis. Departamento de Ingenieria Agricola. Michigan State University, U.S.A. 234 p.
- Rossi, S.J. y Roa, G. (1980). Secagem e armazenamento de produtos agropecuarios com uso de energia solar e ar natural. Secretaria da Industria, Comercio, Ciencia e Tecnologia. Academia do Estado de Sao Paulo. Publicacion ACIESP No.22. 295 p.
- Seng, Y.Y. (1976). Development of a drying system for cassava using a high rotary drier. Tesis de grado. Universidad de Malasia. 219 p.
- Thanh, R., Muttamara, S., Lohani, B.N., Rao, B.V. y Burintratikul, S (1979). Optimization of drying and pelleting techniques for tapioca roots. International Development Research Centre - Asian Institute of Technology. Informe final III, Bangkok, Tailandia, 119 p.
- Toh, K.B. (1973). An investigation into the techniques of dehydration of tapioca by mechanical and artificial heat drying. Tesis de grado. Universidad de Malasia. 120 p.
- Webb, B.H. y Gill, K.S. (1974). Artificial heat drying of tapioca chips. *Malaysian Agricultura Research* 3;67-76.

**AGRADECIMIENTO**

Los autores expresan su agradecimiento al Dr. Luis Sanint de la Sección de Economía del Programa de Yuca, CIAT, por facilitar el acceso al computador y brindar asesoría en la organización del programa para el análisis económico; y a los Sres. Jorge Wilson Collazos y Ricardo Ruiz, estudiantes de último año de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle, quienes elaboraron y digitalizaron el programa.