CAPÍTULO 24

Estudio del Secado Artificial de la Yuca en la Costa Atlántica de Colombia[1]

*Lisímaco Alonso**, *Miguel Angel Viera*** y *Rupert Best****

Introducción

Existe un gran potencial en los países tropicales de América Latina para la utilización de la yuca seca en la alimentación animal. Hay, además, buenas perspectivas para incluirla en la alimentación humana como fuente de calorías en productos elaborados junto con otras materias primas; ejemplos de éstos son las harinas compuestas para sopas y coladas, el pan y las pastas. Se ha creado así la necesidad de desarrollar métodos de secado que sean eficientes, confiables respecto a la calidad del producto, y factibles técnicamente y económicamente, de manera que estos tres aspectos se consideren dentro de las condiciones socioeconómicas de los países en vías de desarrollo antes indicados.

Entre los diferentes sistemas de secado hay dos que, por requerir relativamente baja inversión y presentar un manejo sencillo, despertaron interés y fueron considerados en los programas de investigación del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Son ellos 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 aplicó en la Costa Atlántica de Colombia a escala comercial en un proyecto de colaboración con el Fondo de Desarrollo Rural Integrado (DRI); el proyecto se orientaba al establecimiento de pequeñas empresas campesinas que produjeran yuca seca para la alimentación animal. En el año 2000 había más de 180 plantas de este tipo establecidas en Colombia.

El secado natural depende completamente de las condiciones climáticas, lo que restringe su uso en 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 escogió un secador de capa fija con circulación artificial de aire caliente. Este sistema se evaluó utilizando diversas fuentes de calor, tales como diesel, gas propano, carbón mineral y un colector solar.

En este capítulo se presentan los resultados de dicha evaluación y se discute el empleo del secado artificial en las condiciones actuales de producción y comercialización de la yuca en la Costa Atlántica; también se estudia este método como alternativa en la producción de yuca seca para el consumo humano.

Historia de Ensayos

El método de secado más económico que haya usado el hombre desde tiempos remotos es el secado natural. Este método fue estudiado por varios investigadores para secar la yuca, tanto en pisos de concreto como en bandejas verticales o inclinadas, durante la década de los 70 (Roa, 1974; Best, 1978; Thanh et al., 1979). Estos

1. Este documento fue publicado en la Revista ACOGRANOS, No. 3, 1987, Bogotá.

* Ingeniero Agrícola, Sistemas de Manejo Poscosecha, CLAYUCA, Cali, Colombia. E-mail: l.alonso@cgiar.org
** Antigua Sección de Utilización de Yuca, Programa de Yuca, CIAT, Cali, Colombia.
*** Ph.D., Ingeniería Química, Líder del Proyecto de Desarrollo de Agroempresas Rurales, CIAT. E-mail: r.best@cgiar.org

Digitized by Google

estudios permitieron entender mejor 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 hechas en las técnicas de secado natural y de las ventajas que ofrece éste sobre el secado artificial (en términos de costos de inversión y operación), es un método que no se puede emplear en regiones donde las condiciones ambientales sean desfavorables. En éstas, el uso de secadores por tandas, con aire ambiental o aire caliente o con 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; Freivalds, 1982).

Paralelamente a las investigaciones del secado natural, se llevaron a cabo estudios de secado en capa fija, con miras a determinar los mejores parámetros de operación, la altura de la capa, y la temperatura y velocidad del aire para secar trozos de yuca.

- Chirife y Cachero (1970) hallaron que con capas hasta de 12 cm de altura no se reduce apreciablemente el tiempo de secado con flujos de aire superiores a 5000 kg/h por m^2, y la temperatura a la que los trozos se tuestan a bajos contenidos de humedad (menores que 35%) ocurre por encima de 84 °C. Estos autores también encontraron que no se presenta un período de velocidad constante y que el movimiento interno del agua contenida en los trozos es el mecanismo que controla el proceso desde el comienzo, lo que resultó 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 m^2 de área, acoplado a un colector solar de 100 m^2 de área absorbente, y usaron modelos matemáticos para determinar el mínimo caudal de aire que se debe aplicar cuando la temperatura y la humedad relativa varían. Reportaron que, para capas de 30 cm de altura, el caudal aplicado varió entre 47.5 y 102.5 rn^3/min por tonelada de trozos de yuca colocado en el secador, cuando la temperatura del aire fluctuaba entre 40 y 20 °C y la humedad relativa entre 25% y 55%.

- Toh (1973) investigó el secado de pulpa rallada de yuca en varios niveles de temperatura, caudal de aire y densidad de carga, en un secador continuo de túnel. La pulpa había sido secada previamente hasta una humedad de 50% (en base húmeda) en una filtro-pensa. Para calentar el aire utilizó un quemador de kerosene. El consumo de combustible varió exponencialmente con la densidad de carga y aumentó (en menor grado) cuando se incrementó el caudal. Toh encontró que no era apropiado, para las condiciones del experimento, calentar aire a temperaturas mayores que 70 °C, por el alto consumo de combustible.

- Con este mismo material (pulpa rallada prensada), Seng (1976) evaluó el empleo de un secador rotatorio y continuo. Al combustible utilizado se atribuye un 55% del costo total de la operación; aun así, el empleo de este sistema podría competir, en cuanto a costos, con el secado tradicional al sol para las condiciones de Malaysia, 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), en 1974, en Costa Rica. Se encontró que el proyecto es factible, con rentabilidades de 11% sobre la inversión total y de 16% sobre la inversión fija, si se opera con una capacidad mínima de 10 t/ha durante 20 horas por día y 200 días por año. Partiendo de este estudio se montó la planta que fracasó a causa de su mala ubicación y de la incapacidad de la zona para suministrar la materia prima necesaria.

Los estudios mencionados indican que los parámetros de control, cuando se trata de minimizar los costos de operación y obtener yuca seca de buena calidad, son el estado de subdivisión del material, la temperatura y el caudal de aire que se aplique. Además, para que el proceso sea factible, se debe garantizar un suministro continuo y adecuado de materia prima.

Digitized by Google

Plan de Investigación

El estudio experimental se llevó a cabo en dos fases:

- En la primera se evaluó un secador de 6 m^2 acoplado a un colector plano de radiación solar de 30 m^2 de superficie. El secador y el colector se construyeron en el municipio de San Juan de Betulia, departamento de Sucre, en la región conocida como Costa Atlántica de Colombia.
- La segunda fase se realizó en el CIAT con dos secadores, uno con 2 m^2 y otro con 6 m^2 de área de secado, acoplados el primero a un quemador de carbón y el segundo, independientemente, a quemadores de gas propano y ACPM[2].

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

Materia Prima

Las raíces de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) fueron cosechadas cuando los cultivos experimentales tenían de 8 a 10 meses de edad. En la primera fase se empleó la variedad local Venezolana, sembrada en la Costa Atlántica, y en la segunda la variedad Manihoica P 12, cultivada en el CIAT.

Las raíces de yuca fueron trozadas o picadas en el prototipo de máquina denominada Tailandia, que consistía en una estructura metálica con una tolva de alimentación y un disco vertical giratorio. El disco tenia 6 filas de agujeros de, aproximadamente, 25 mm de diámetro, que cortaban la yuca en forma de tajadas. En la Figura 24-1 se presenta la máquina picadora.

Los trozos producidos por esta máquina medían de 60 a 80 mm de longitud, de 25 a

Figura 24-1. Máquina picadora de yuca tipo Tailandia.

30 mm de ancho y de 7 a 10 mm de espesor. Junto con el trozo típico se producían también trozos más pequeños y partículas finas o ripio. Los porcentajes obtenidos de toda la muestra son los siguientes: 42% para el trozo típico, 34% para trozos más pequeños y 24% para el ripio.

Sistemas de Secado

Primera fase

Para los ensayos de la primera fase se empleó el sistema presentado en la Figura 24-2, que consta de un secador de 6 m^2, un ventilador centrífugo y un colector solar plano de 30 m^2.

Figura 24-2. Secador de trozos de yuca que emplea un colector solar para calentar el aire.

2. El aceite combustible diesel (fuel oil no. 2) se llama en Colombia ACPM, una abreviatura de aceite combustible de peso medio.

Digitized by Google

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

El ventilador (marca Dayton, referencia 3CO73) hace circular el aire por el sistema mediante aletas curvadas hacia atrás que son accionadas por un motor eléctrico de 1 HP.

El colector solar de 30 m^2 de superficie absorbente se construyó sobre un piso de concreto de 6 cm de espesor que tenía paredes de bloques de concreto. Como medio absorbente de la radiación solar se emplearon láminas acanaladas de zinc pintadas de negro mate que se colocaron dentro del colector, entre el piso y una cubierta de plástico calibre 6; ésta estaba soportada por una estructura de madera y malla de alambre de tipo gallinero, como se muestra en la Figura 24-2.

Segunda fase

Para esta fase del experimento, realizada en el CIAT, se utilizaron los dos secadores. El de 2 m^2 se acopló mediante un ventilador centrífugo (marca Dayton, referencia 3CO73) con un conjunto (quemador de carbón intercambiador de calor). El quemador de carbón de tiro natural consta básicamente de una cámara de combustión u hogar con parrilla estacionaria. El intercambiador de calor es de doble tubo concéntrico, con aletas longitudinales en ambos lados del tubo interior, por el que fluían los gases de combustión. El aire de secado circula por el espacio anular formado con los dos tubos. Este sistema se muestra en la Figura 24-3.

El secador de 6 m^2 se acopla independientemente a dos unidades de calentamiento, una de gas propano y otra de ACPM. La unidad diesel (ACPM) consta de un motor (marca Lister, modelo LTI) de 7.5 HP, acoplado directamente a un ventilador axial (marca Lister); mediante transmisión por correa, la unidad impulsa un generador (marca Markon) de corriente eléctrica de 1.5 KVA (kilovoltio-amperio), el cual proporcionaba la corriente necesaria para el funcionamiento del quemador de ACPM (marca NuWay Benson). La unidad de

Figura 24-3. Secador artificial de capa fija con quemador de carbón para calentar el aire.

gas propano (marca Farm Fans, modelo 116SH) consistía en un ventilador axial y un quemador de gas. En las Figuras 24-4 y 24-5 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 la combustión.

Los quemadores se conectan con los secadores por medio de ductos de medición AMCA (Ashrae, 1977).

El caudal de aire se determinó con un anemómetro de aletas, un tubo de Pitot y un manómetro inclinado de escala 0 a 2.4 pulgadas de agua y precisión ± 0.02. En la cámara plenum de los secadores se midió la temperatura del aire

Figura 24-4. Sistema de calentamiento con ACPM, acoplado a un secador de capa fija.

Digitized by Google

Figura 24-5. Sistema de calentamiento a base de gas propano, acoplado a un secador de capa fija.

con un termómetro de mercurio de 120 °C y precisión de ± 1 °C.

Evaluación del Secado Artificial

Con colector solar

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

Los resultados de la evaluación del colector se presentan en el Cuadro 24-1. El período diario de operación del colector iba desde las 7:00 hasta las 19:00 horas, tiempo en que calentó un caudal de 106 m^3/min hasta una temperatura promedio de 36 °C. La temperatura inicial del aire ambiental era, en promedio, de 31 °C.

La humedad relativa del aire descendió desde 62% hasta 46%. La eficiencia del colector, definida como la razón entre la cantidad promedio de energía ganada por el aire y la energía de la radiación solar incidente, fue de 63%, que es un valor normal, según Rossi y Roa (1980) para este tipo de colectores.

En el Cuadro 24-2 se presentan los resultados obtenidos cuando se acopló el secador al colector solar. Al aplicar diversos caudales de aire se obtuvieron diferentes tiempos de secado, que se expresan en horas netas de períodos que van de las 7:00 y las 20:00 horas, y, también en días; se incluyen las horas de la noche en que se suspende el proceso. El número de tandas que se pueden secar por semana, considerando el tiempo de secado, se determinaron sobre la base de que no se procesan nuevas tandas cuando la última termina después del medio día. Esta norma se adoptó porque no se garantiza la calidad final del producto por la siguiente razón: los trozos se deterioran cuando se secan con interrupciones y no se reduce su contenido de humedad a un nivel inferior a 35% en el primer día. Cuando esto ocurre, los trozos presentan al final un color amarillento, un indicio general de un mal procesamiento que les da mal aspecto. Lo mismo sucede cuando el tiempo de secado se prolonga por más de 2 días.

Aunque es posible funcionar después de las 20:00 horas, no se usó ese tiempo porque la reducción del contenido de humedad de los trozos, a las bajas temperaturas obtenidas con el colector en esas horas, no justificó el gasto de energía eléctrica empleada en el sistema.

Según el Cuadro 24-2, se obtuvo la mayor capacidad de secado por semana cuando se aplicó un caudal de 118 m^3/min por tonelada.

Cuadro 24-1. Valor[a] de los parámetros en que opera un colector solar plano de 30 m^2 de superficie absorbente[b].

Aire ambiental			Radiación solar ($cal/cm^2 \cdot min$)	Caudal de aire (m^3/min)	Temperatura (°C)		Eficiencia (%)
Parámetro:	Temp. (°C)	H.R. (%)			Incremento	Final	
Valor:	31	62	0.62	106	5	36	63

a. Valores promedios de 43 días de observaciones entre las 7:00 y las 19:00 horas.
b. Superficie absorbente conformada por láminas acanaladas de zinc pintadas de negro mate, por debajo de una cubierta de polietileno. H.R. = humedad relativa.

Digitized by Google

Cuadro 24-2. Efecto del caudal de aire aplicado en el tiempo y en la capacidad de un sistema artificial de capa fija acoplado a un colector solar plano[a].

Caudal aplicado ($m^3/min \cdot t$)	Tiempo de secado		Capacidad por semana	
	Neto[b] (h)	Real[c] (días)	Tandas (no.)	Yuca seca (kg)
78	41	3.2	1.5	810
88	42	3.3	1.5	720
100	29	2.2	2	840
118	26	1.6	3	1077
141	20	1.3	3	480

a. Valores promedio de tres repeticiones por nivel de caudal aplicado. Las condiciones generales del ensayo fueron las siguientes:
Humedad de los trozos de yuca (%) = inicial: 64.5 ± 2; final = 12.3 (interpolada).
Condiciones del aire: temperatura = 36 ± 2 °C; humedad relativa = 43.5 ± 6.5%; caudal =106 m^3/min;
Radiación solar (cal/cm^2) = 0.60 ± 10%.
b. Período de secado por día = 7:00-20:00.
c. Incluye las horas nocturnas durante las cuales se suspendió el secado.

En el Cuadro 24-3 se presentan el valor de la inversión y el costo de producción de un sistema natural y de uno artificial con colector solar. El sistema artificial tiene mayor costo inicial por la unidad de motor-ventilador y mayor costo de producción por la reposición del plástico y el consumo de energía eléctrica; por lo tanto, no compite con el sistema natural. Además, no es éste un sistema independiente de las condiciones ambientales.

El empleo de un colector solar para secar artificialmente la yuca, un producto cuya humedad inicial es alta (60% a 65%) a las temperaturas relativamente bajas que se obtienen (34 a 38 °C), requiere caudales altos; esto incide en tamaño del colector y del ventilador, lo que limita la capacidad del sistema a una cantidad de 2.5 a 3 t de producto seco por tanda.

Cuadro 24-3. Costo de inversión y de producción de los sistemas de secado por tandas con capacidad de 2.4 t de trozos secos de yuca en 1985.

Sistema de secado	Costo de:	
	Inversión (Col$)	Producción (Col$/t)
Natural: sobre piso de concreto (500 m^2)[a]	330,500	21,360
Artificial: capa fija y colector solar[a]	1,020,000	22,730
Diferencia	689,500	1,370[b]

a. Costos de los elementos del sistema:
cámara (30 m^2) = $200,000; colector solar = $220,000; motor ventilador = $600,000.
b. Esta diferencia se debe a la reposición del plástico y al consumo de energía eléctrica en el secado artificial.

Con tres combustibles

En el Cuadro 24-4 se presentan los resultados del secado artificial con tres combustibles disponibles: carbón mineral, gas propano y ACPM; muestra también la eficiencia global del proceso para las diferentes condiciones de operación, y los costos de la operación a causa del empleo de combustible. Con los caudales aplicados y los niveles de temperatura dados, se pueden secar trozos de yuca hasta dejarles un contenido de humedad de 12.3%, en un tiempo de 5.5 a 10 horas, dentro de una jornada normal de trabajo. El consumo de combustible fue mayor cuando se usó carbón que gas propano. Se observa también que, cuando aumenta la temperatura o el caudal aplicado, se reduce el tiempo de secado pero se hace un mayor consumo de combustible y, por ende, se llega a un costo más alto.

La mayor eficiencia se alcanza con el gas propano, seguido por el ACPM y el carbón; entre estos dos no hay diferencia apreciable. La mayor eficiencia obtenida con propano se debe a que el calentamiento del aire es directo, dado que éste se mezcla con los gases de la combustión.

A pesar de que el secado con carbón presenta menor eficiencia y mayor consumo de combustible, arroja el menor costo de operación debido al precio por kilogramo, relativamente bajo. Se observa que a mayor caudal y mayor temperatura se obtienen los más altos costos de operación y que en esto la diferencia entre el carbón y el gas propano es mínima; por tanto, la elección entre ellos debe basarse en la disponibilidad del combustible y en el costo de los equipos de combustión y calentamiento. En el Cuadro 24-5 se presentan estos costos, que incluyen los quemadores, intercambiadores, ventiladores y controles que conforman cada unidad. El resultado final continúa favoreciendo la opción del carbón mineral, que presenta menores costos tanto de inversión como de operación.

Digitized by Google

Cuadro 24-4. Efecto de la temperatura y del caudal aplicado en el tiempo de secado y en el consumo de combustible y en dos parámetros (eficiencia y costos) del sistema de secado artificial de yuca con tres diferentes fuentes de calor[a].

Temp. del aire[b] (°C)	Caudal aplicado ($m^3/min \cdot t^e$)	Tiempo neto de secado (h)	Consumo de combustible[c]			Eficiencia global (%) con:			Costo (Col$/t[d])		
			Carbón mineral (kg/t)	Gas propano (kg/t)	ACPM (gal/t)	Carbón	Gas propano	ACPM	Carbón	Gas propano	ACPM
50	130	10.0	250	105	65	38	70	36	1625	3150	7150
	190	7.5	390	110	70	32	72	36	2535	3300	7750
60	130	7.5	300	100		35	65		1950	3000	
	190	5.5	350	130		25	54		3575	3900	

a. Promedio de tres valores por tratamiento. Condiciones generales de ensayo:
Temperatura promedio de aire ambiental = 26 °C. Humedad de los trozos de yuca (%) inicial = 61 ± 2; final = 12% (interpolada).
Poder calorífico de los combustibles (kcal/kg): carbón = 6,700; gas propano = 14,000; diesel = 41,000.
Eficiencia de los quemadores (%): carbón = 60 ± 5; gas propano = 95 ± 2; diesel = 76 ± 2.
Precios de los combustibles en 1985: carbón = $6.5 por kg; gas propano = $30 por kg; diesel = $11,000 por galón.
b. El sistema de calentamiento diesel, por sí solo, proporciona temperaturas de 50 °C.
c. t se refiere a toneladas de trozos de yuca fresca. ACPM = diesel.
d. t se refiere a toneladas de trozos de yuca seca.

Cuadro 24-5. Costo de los equipos de combustión de ACPM, propano y carbón con una capacidad de 70,000 kcal por hora en 1985.

Sistema	Costo de inversión (Col$)
Carbón	470,000
ACPM	1,225,000
Propano	645,000

Análisis Económico

Los quemadores de carbón son equipos de transferencia de calor en los secadores artificiales y presentan ventajas sobre los de gas propano o los de ACPM. Se hace, por tanto, un estudio económico de cuatro alternativas de inversión, que parten de 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 de 1985.

Los principales supuestos de este análisis se presentan a continuación:

- *Capacidad de producción*: se determina según la capacidad de una planta modelo de la Costa Atlántica, que se calcula en 538 t de yuca seca por año.
- *Precio de la materia prima*: $8,000/t de yuca fresca, valor reportado por las plantas de secado durante la operación del año 1985.
- *Factor de conversión* de yuca fresca a yuca seca: 2.5; es decir, se requieren 2.5 t de yuca fresca para producir 1 t de yuca seca.
- *Precio de venta* por tonelada de yuca seca a 12.3%: $27,200 (85% del precio del sorgo en 1985).
- *Consumo de carbón*: 450 kg/t de yuca fresca a un precio de compra de $6.5/kg.
- *Días laborables* por semana: 6.
- *Métodos de secado*:
  - Natural en pisos de concreto
  - Artificial en capa fija y aire calentado a 60 °C con carbón mineral.

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

En el Cuadro 24-6 se describen las cuatro alternativas de inversión que se consideraron:

- La **alternativa 1** corresponde a una planta modelo de la Costa Atlántica, que opera durante el verano (de diciembre a abril) durante 20 semanas por temporada anual.
- 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

Digitized by Google

Cuadro 24-6. Descripción de las alternativas de inversión en secado de yuca.

Alternativa	1	2	3	4
Método de secado	Natural	Natural	Natural/artificial	Artificial
Período de operación anual (semanas)	20	35	20/30	50
Sistema de secado	En piso de concreto de 2000 m^2	En piso de concreto de 1300 m^2	En piso de concreto de 1000 m^2/secador de capa fija de 20 m^2	En capa fija de 20 m^2
CMP por tanda[a] (t)	24	13	12/4	4

a. CMP = capacidad máxima de procesamiento de yuca fresca.

verano se prolonga un poco más, como sucede en los departamentos del nordeste de la Costa Atlántica, donde ocurre un veranillo.

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

La inversión en equipos (máquinas picadoras, secadoras y motores), en herramientas del proceso y en capital de trabajo se presenta en el Cuadro 24-7. El capital de trabajo se estimó como el dinero necesario para captar materia prima durante un mes de operación; varía para cada planta, porque el período de operación anual es diferente en cada una y su capacidad de producción es igual; por tanto, unas plantas manejan mayores volúmenes de yuca fresca que otras por mes.

En el Cuadro 24-8 se presentan los costos de producción por tonelada de yuca seca. El costo de procesamiento comprende mano de obra, mantenimiento y consumo de energía eléctrica y de carbón.

Con respecto a la inversión, el menor valor está en la alternativa 4; sin embargo, tiene los costos de operación más altos.

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

Las cuatro alternativas resultaron económicamente factibles, y sus rentabilidades fueron 26.4%, 37%, 12.6% y 12.4%. La alternativa 2 es la más rentable porque emplea las instalaciones durante un período más amplio, y con bajos costos de operación y de inversión.

Los datos económicos del análisis son válidos para la temporada de verano, en la que se produce yuca seca. En las épocas de invierno, la producción de yuca seca es nula, dado que actualmente se emplea un secado natural; por tanto, el precio sube y llega hasta $37,000 por tonelada o aun 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 en un punto de equilibrio entre la oferta y la demanda o se hagan acuerdos para estabilizarlo; por esta razón se consideró el mismo precio para todas las alternativas, a pesar de que éstas funcionan en diferentes temporadas del año.

Cuadro 24-7. Valor de la inversión y capital de trabajo en cuatro alternativas de inversión de secado de yuca, en 1985.

Alternativas	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

Digitized by Google

Cuadro 24-8. Costo de producción (Col$) por tonelada de yuca seca[a] en cuatro alternativas de inversión, en 1985.

Alternativas	1	2	3	4
Materia prima (yuca fresca)	20,000	20,000	20,000	20,000
Procesamiento	3,580	3,580	5,320	6,500
Total	23,580	23,580	25,320	26,500

a. Componentes: humedad, 13.7%; proteína, 3.5%; grasa, 0.5%; fibra, 10%; carbohidratos, 78.6%.

Por otro lado, el precio de captación de la yuca fresca sufrirá variaciones de la época seca a la lluviosa, por dificultades en la cosecha, la recolección o el transporte, o por escasez. Aunque la materia prima es el renglón que más incide en los costos de producción, se consideró también el mismo precio para ella en el análisis de las cuatro alternativas porque no hay información que permita predecir un precio confiable durante la época de lluvias. Se sugiere, por ello, que para hacer rentable un proyecto de producción de yuca seca o expansión de la capacidad durante todo el año, la planta de secado, además de estar ubicada en una región productora de yuca fresca, debe desarrollar su infraestructura y poseer cultivos propios; así puede 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 de Colombia, ha permitido introducir mejoras al proceso de producción; éstas no se hubieran podido lograr si el trabajo se queda a nivel experimental. Estas mejoras se han manifestado en la disminución de los costos de producción y en el consiguiente aumento de las utilidades del proyecto.

La producción de yuca seca y su utilización como fuente de calorías para sustituir ciertos cereales (especialmente el sorgo) en la alimentación animal, ha generado una demanda creciente de ese producto en el mercado. Para satisfacer esta demanda hay que desarrollar tanto la producción como el procesamiento de la yuca.

- En cuanto a **producción**, es necesario aumentar el rendimiento por hectárea y la superficie cultivada. Así se podrá 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 y a procesar volúmenes grandes de yuca fresca en este período; se distribuirá el producto durante el resto del año. Por tanto, aumentarán los costos de inversión que requiera este aumento de capacidad y el almacenamiento.

En cambio, el uso de un secador artificial de capa fija y con carbón mineral como fuente de energía es la mejor alternativa para hacer posible oferta de yuca seca todo el año. Además, permite mejorar la calidad del producto, lo que puede ser una ventaja cuando se pagan incentivos por la calidad o se comercializa el producto para la alimentación humana; en este campo se pueden lograr mejores precios de venta.

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

Un colector solar para el SA de la yuca no es factible porque se requiere mucha energía para evaporar la gran cantidad de agua que contiene la yuca fresca; esa energía 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, del precio de venta, del factor de conversión de yuca fresca a yuca seca, y del consumo y precio del carbón en la

Digitized by Google

rentabilidad de un proyecto de producción de yuca seca que emplee alternativamente un SN y un SA.

Bibliografía

Akhtar J. 1978. Drying of cassava with heated air. Tesis (Maestría). Asian Institute of Technology (AIT), Bangkok, Tailandia. 47 p.

Alonso L; Viera MA; Best R. 1987. La investigación en el secado artificial de yuca como apoyo al desarrollo agroindustrial de la costa atlántica de Colombia. Revista ACOGRANOS 3:24-32.

Ashrae H. 1977. Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Nueva York.

Best R. 1978. Cassava processing for animal feed. En: Weber EJ; Cock JH; Chouinard A (eds.). Workshop Cassava harvesting and processing, Cali, Colombia, abril 1978. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canadá. p. 12-20.

Chirife J; Cachero RA. 1970. Through-circulation drying of tapioca root. Journal of Food Science 35(4):364-368.

CITA (Centro de Investigaciones en Tecnología de Alimentos). 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.

Crown F. 1981. White elephant tales: Venezuela's cassava processing plants. Agribusiness Worldwide 2(1):24-29.

Freivalds J. 1982. Farm fiction: The feasibility studies for cassava production and processing in Espírito Santo, Brazil. Agribusinees Worldwide 3(6):10-13.

Ospina JE. 1980. Quantificação da deterioraçâo de mandioca durante a secagem em barcaça por convecção forçada de ar aquecido com coletor solar. Tesis (Maestría). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil. 100 p.

Roa G. 1974. Natural drying of cassava. Tesis (Ph.D.). Departamento de Ingeniería Agrícola, Michigan State University, E.U. 234 p.

Rossi SJ; Roa G. 1980. Secagem e armazenamento de productos agropecuários com uso de energia solar e ar natural. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia; Academia de Ciências do Estado de Sâo Paulo. 295 p.

Seng YY. 1976. Development of a drying system for cassava using a high temperature rotary drier. Tesis. Kuala Lumpur, Universidad de Malaya. 219 p.

Thanh R; Muttamara S; Lohani BN; Rao BV; Burintratikul S. 1979. Optimization of drying and pelleting techniques for tapioca root. Journal of Food Science 35(4):364-368.

Toh KB. 1973. An investigation into the techniques of dehydration of tapioca by mechanical and artificial heat drying. Tesis (B.Sc.). Kuala Lumpur, Universidad de Malaya. 120 p.

Webb BH; Gill KS. 1974. Artificial heat drying of tapioca chips. Malaysian Agricultural Research 3:67-76.

Digitized by Google