

PARTE F

Beneficio y Subproductos



CAPÍTULO 25

Obtención Industrial de Harina de Yuca por Sistemas Continuos

Erwin Silva C.*, Bernardo Ospina P.** y Lisímaco Alonso***

Introducción

El potencial de uso de la harina de yuca en la alimentación animal ha crecido porque hay dependencia, en la mayoría de los países de la región, por el uso de cereales importados como componentes principales de las dietas balanceadas (CLAYUCA, 2001).

Para concretar este potencial, era necesario desarrollar sistemas de procesamiento de harina de yuca que permitieran un costo final competitivo frente al precio de los cereales importados, y que garantizaran la oferta continua con estándares de calidad adecuados (CLAYUCA, 2001).

La calidad nutricional depende, en gran medida, de la tecnología de procesamiento empleada. Esta decide el contenido final de glucósidos cianogénicos (el cianuro) que, según las normas internacionales, no debe presentar un valor mayor de 100 partes por millón (ppm) (CLAYUCA, 2001).

Hasta ahora, el método más seguro para la eliminación de 'cianuro' en el procesamiento de yuca ha sido el secado natural en pisos de

concreto. A pesar de su eficacia, como proceso de detoxificación, este método tiene una desventaja: ofrece una capacidad limitada de producción, porque está supeditado a épocas en que las condiciones climáticas sean favorables (CLAYUCA, 2001).

La creciente demanda de harina de yuca por parte de los sectores avícola, porcícola y ganadero exige el desarrollo de métodos de secado artificial de yuca que garanticen una oferta permanente de grandes volúmenes de ese producto, a precios competitivos y con una calidad que permita su uso seguro en las formulaciones y dietas para la alimentación animal (CLAYUCA, 2001).

Para lograr este objetivo, CLAYUCA y CIAT, con el aporte del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR) y de Industrias Protón Ltda., una entidad socia de CLAYUCA, impulsaron el diseño de una planta piloto para la obtención de harina integral de yuca destinada al consumo animal mediante un proceso seco y sin generación de efluentes (CLAYUCA, 2001).

Después de un año de trabajo se llegó a un prototipo de planta piloto que se construyó en las instalaciones del CIAT. Tiene capacidad de procesar 300 kg de yuca fresca por hora y se obtiene harina de yuca con humedad de 12%-13% (CLAYUCA, 2001).

Descripción del Proceso

A continuación se describen las etapas de este proceso tecnológico. Más adelante se presenta un diagrama de flujo (Figura 25-9).

* Ingeniero de Alimentos, Director de Proyectos Agroindustriales, Industrias Protón Ltda., Bogotá, Colombia. E-mail: erwinsilva@telesat.com.co

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

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

Recepción

Las raíces de yuca, en sacos de 40 a 50 kg, se colocan en la plataforma de descarga la cual, a través de una boca ancha, las hace llegar hasta una bandeja inclinada. Las raíces, con ayuda de un operario, se deslizan sobre la superficie de esta bandeja y se despojan de trozos de tierra y barro adheridos a ellas (Figura 25-1).



Figura 25-1. Bandeja inclinada.

Limpieza

Las raíces entran en un tambor de barrotes que gira a muy pocas revoluciones y tiene un ángulo mínimo de inclinación para que las raíces, tan pronto entren al tambor, inicien su rotación y liberen rápidamente la tierra y el barro adheridos a su superficie. Estos residuos salen por la parte inferior del tambor (Figura 25-2). Al final del período de giro del tambor, las raíces son recibidas en una banda transportadora que las conduce a la etapa siguiente del proceso (Figura 25-3).

Preacondicionamiento

Esta etapa del proceso consta de dos operaciones continuas:

- La primera es la reducción de tamaño de las raíces mediante un triturador que las transforma en pequeñas partículas.
- La segunda es la desintegración de estas partículas para destruir la pared celular del parénquima, la corteza y la pulpa, generando así una masa más homogénea (Figura 25-4).



Figura 25-2. Tambor de barrotes.



Figura 25-3. Limpieza de raíces y transporte.



Figura 25-4. Preacondicionamiento de las raíces.

Detoxificación

Esta etapa se realiza para optimizar la actividad enzimática. La enzima linamarasa actúa sobre la estructura del glucósido cianogénico, en una



Figura 25-5. Detoxificación y presecado.

atmósfera controlada que logra la máxima velocidad de la reacción, y libera el ácido cianhídrico del sustrato. Así se cancela el grado de toxicidad que tenía la harina integral (Figura 25-5).

El principio con que opera este reactor enzimático es el siguiente: el aire hace contacto directo, a una temperatura determinada, con una masa de producto que está siendo trabajada mecánicamente dentro del reactor. El ácido cianhídrico liberado se volatiliza en las corrientes de aire y es retirado del sistema por un ciclón de separación que descarga en la atmósfera.

Presecado

En esta etapa del proceso continúa la eliminación de agua y de compuestos

cianogénicos del producto. El principio con que opera el presecador es el contacto directo del producto en forma de gránulos, con el aire del secado (Figura 25-5).

En el presecado se reduce el contenido de humedad del producto hasta un 25%.

Secado, aclimatación y empaque

El producto es transportado por una corriente de aire a la etapa de secado y aclimatación.

En esta etapa, el producto está ya en forma de harina y continúa secándose hasta alcanzar un contenido de humedad cercano al 13% (Figuras 25-6) y un nivel aceptable de cianuro (Figura 25-7). Este proceso de secado se realiza mediante un secador rotatorio con paletas de agitación en su interior que rompen los gránulos. El secador mantiene este producto en contacto directo con aire caliente y lo descarga en un módulo similar, cuya función es aclimatarlo (Figura 25-8). Esta operación evita que el producto final absorba humedad del medio, ya que la harina es altamente higroscópica.

La harina seca se empaca en sacos de 40 kilos, que son estibados luego en las bodegas.

Las partículas finas, arrastradas por las corrientes de aire, se recolectan en los ciclones de separación. Los gases de ácido cianhídrico son liberados a la atmósfera, donde se disocian en CO_2 , NO_2 y vapor de agua. Todo el proceso está comandado desde un tablero de control simulado en el diagrama de la Figura 25-9 (ver también el Cuadro 25-1).

Actividades Anexas

Evaluación de dos componentes

Se evaluó la capacidad de la **unidad de desintegración** (tritador y desintegrador) de la planta piloto para liberar los gránulos de almidón del parénquima de las raíces frescas. Se realizó un ensayo preliminar en el que se probó cada máquina por separado y luego la combinación de las dos unidades, tal como funcionan en la planta; se procesaron 50 kg de raíces por equipo.

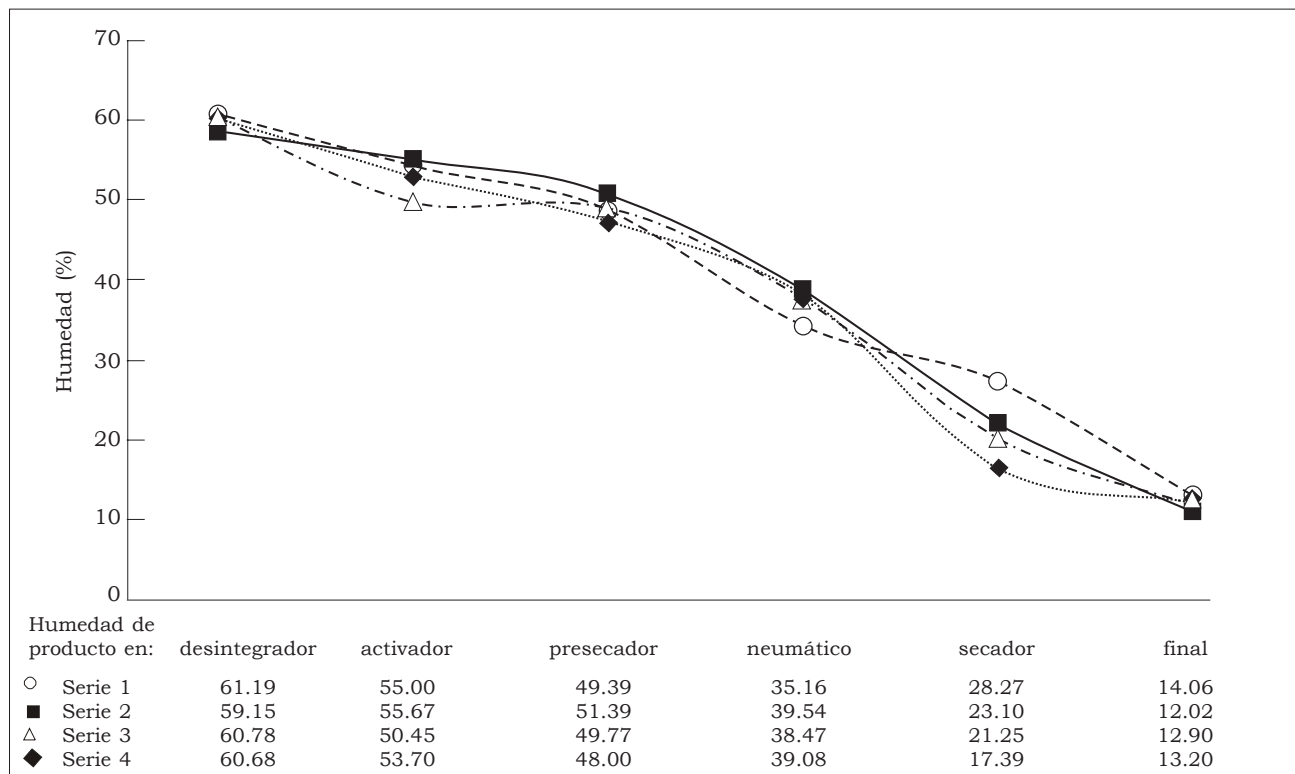


Figura 25-6. Curvas de secado del proceso de obtención de harina de yuca.

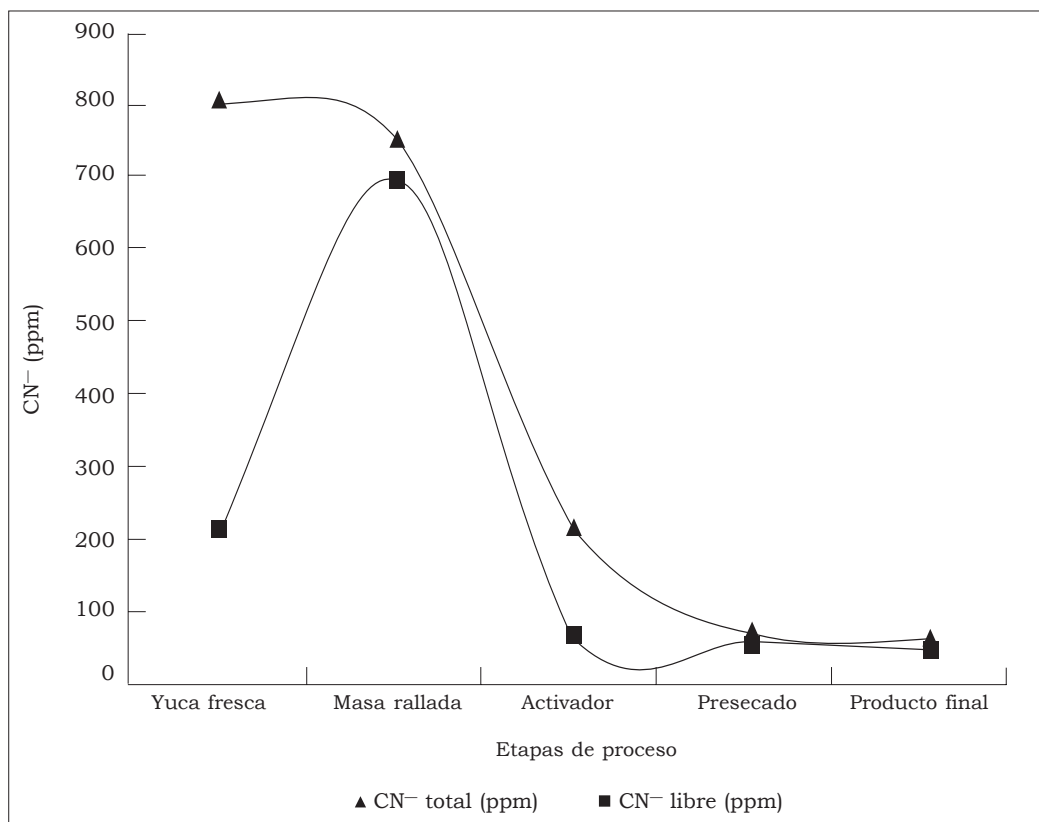


Figura 25-7. Variación del contenido de CN⁻ (cianógenos) a través de las etapas del proceso, para la variedad MV-25.



Figura 25-8. Secado, aclimatación y empaque.

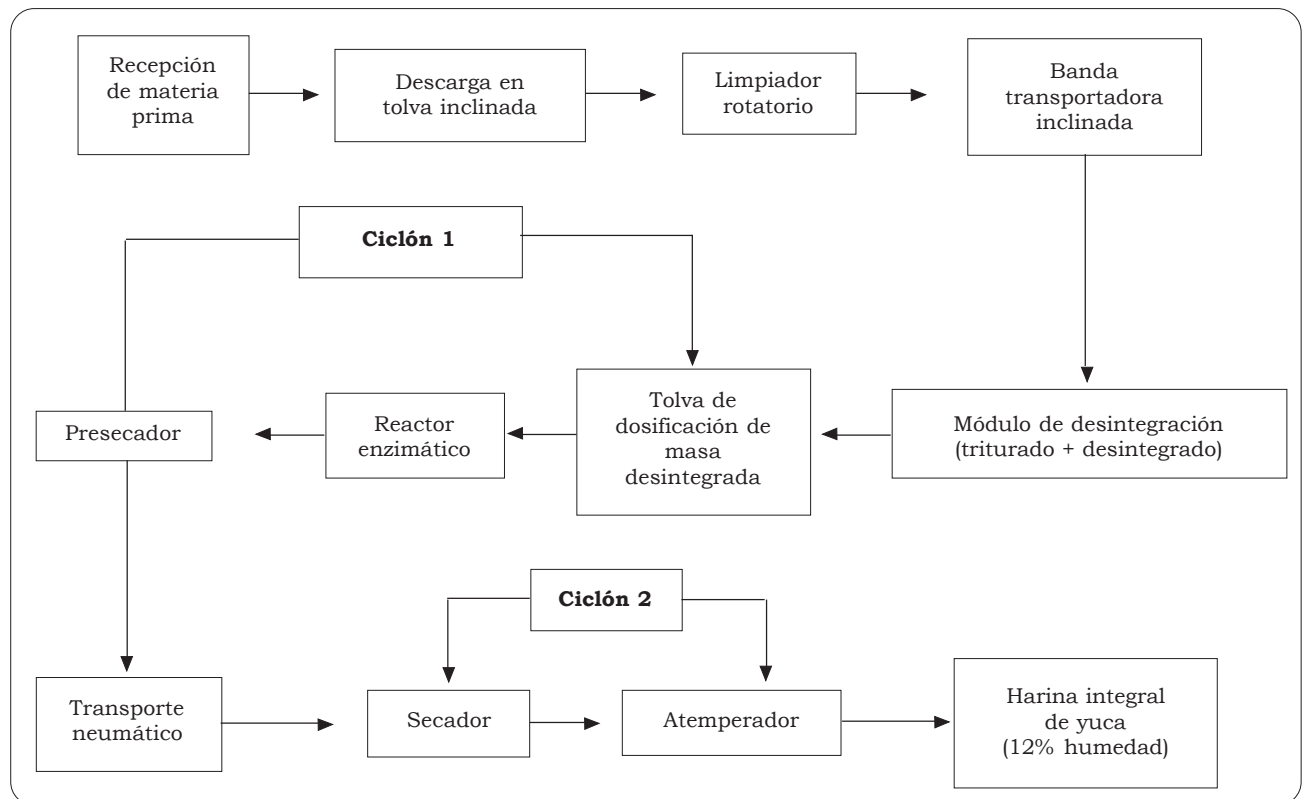


Figura 25-9. Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina integral de yuca en la planta piloto.

Cuadro 25-1. Datos^a de los parámetros de operación de la planta piloto (promedio de varias operaciones) en el procesamiento de harina de yuca^b.

Temperatura del equipo			Humedad del producto^c	
Componente	Punto	Temp. (°C)*	Harina en:	Humedad (%)
Activador enzimático	Entrada	111.67	Activador enzimático	52.95
	Salida	66.67	Presecador	46.02
Presecador	Entrada	88.22	Ciclón 1	32.56
	Salida	55.00	Ciclón 2	8.19
Transporte neumático		83.89	Producto final	10.65
Secador	Entrada	116.67	Balance de material	
	Salida	95.00	Componente	Peso (kg)
Atemperador	Entrada	26.44	Materia prima	600.0
	Salida	33.89	Limpieza	25.0
Presión de vapor		72.20	Producto final	8.5
Humedad relativa del aire (%)		63.00	Ciclón 1	91.0
Bulbo seco (Tbs)		26.44	Ciclón 2	137.2
Bulbo húmedo (Tbh)		21.22	Otros	5.0
* Promedio de datos tomados cada 30 minutos.			Rallo/triturador	9.0
Velocidad de operación			Ventilador	Caudal, Q (m ³ /s)
Equipo	Vel (Hz)	Vel (rpm)	Activador	0.630
Tornillo alimentador	13.5	3.9	Presecador	0.728
Activador enzimático	28.0	6.6	Transporte neumático	0.283
Presecador	39.0	6.8	Secador	0.639
Secador	53.0	5.4	Atemperador	0.486
Atemperador	60.0	5.7		
Temperatura del producto				
Harina en:		Temp. (°C)		
Activador enzimático		35.30		
Presecador		33.87		
Ciclón 1		34.25		
Ciclón 2		38.50		

- Datos tomados del proyecto de grado "Evaluación técnica y económica de una planta piloto productora de harina de yuca para el uso de alimentación animal" que realizan en CLAYUCA (año 2000-2001) los estudiantes del programa de Ingeniería Agrícola Paola Andrea Rengifo y Ricardo Florián, convenio Universidad Nacional de Colombia y Universidad del Valle.
- Humedad de materia prima = 63.97%.
- Tbs = temperatura bulbo seco (°C); Tbh = temperatura bulbo húmedo (°C); Hz = hertz; rpm = revoluciones por minuto.

Se pesó el almidón producido y se tomaron muestras de 1 kg; a cada una se le agregaron 8 litros de agua para evaluar la extracción por vía húmeda. Para evaluar la extracción por vía seca, el resto del material se secó en forma natural y se sometió posteriormente a molienda y tamizado en un tamiz de 106 μ ¹. En los Cuadros 25-2 y 25-3 se presenta un resumen de los resultados obtenidos.

1. 106 μ = malla ('mesh') o trama del tamiz, de calibre 106 micrones.

En esta primera evaluación, el rallador o desintegrador tuvo un buen desempeño pues logró recuperar más del 27% de almidón seco al 12% de humedad; en una rallandería normal sólo se alcanza un 22%, en promedio. En la combinación del triturador más el rallador se logró una extracción mayor que el 26%, que es un buen resultado.

Por vía seca se logró extraer más del 60% de almidón con tamices de menos de 106 μ . De este producto obtenido, aproximadamente 80%

Cuadro 25-2. Evaluación de la obtención de almidón de yuca por vía húmeda.

Muestra	Peso (g)	Peso seco (g) del almidón extraído en:		
		Rallado, R	Triturado, T	R + T, combinados
1	1000	274.5		
2	1000	273.1		
3	1000		76.3	
4	1000			266.7
5	1000			265.3

Cuadro 25-3. Evaluación de la obtención de almidón de yuca por vía seca.

Operación	Peso muestra (g)	Peso seco (g) del almidón extraído ^a
Triturado, T	1000	476.08
Rallado, R	1000	601.33
R + T, combinados	1000	562.51

a. En tamiz de 106 μ .

corresponde a almidón, es decir, igual cantidad de almidón que la obtenida por vía húmeda. El 20% restante son fracciones de fibra y cáscara que logran pasar el tamiz porque estaban finamente molidas.

Estos trabajos preliminares servirán de base para los proyectos futuros en la planta piloto.

Determinación de humedad en harina de yuca

Es necesario medir regularmente y con rapidez la humedad del material en el proceso de obtención de harina integral de yuca. Se calibraron, por tanto, equipos para determinar humedad: un horno con ventilación forzada a 70 °C y una lámpara infrarroja.

Esta metodología había sido desarrollada anteriormente en el CIAT para determinar la humedad de los trozos de yuca y fue adaptada para la presente investigación. Los dos equipos se calibraron según el liofilizador del laboratorio del Proyecto de Mejoramiento de Yuca que funciona a -10 °C y en vacío absoluto.

Hasta la fecha se han hecho dos pruebas de calibración. Se emplearon muestras cuyo nivel

de humedad estaba en el rango de 45% a 80%. Para el horno de convección forzada y para la lámpara infrarroja se aplicaron las mismas condiciones de operación que habían sido establecidas antes, es decir, lectura a las 10 horas para el horno y a los 15 a 20 minutos para la lámpara, y una intensidad de corriente de 1.5 amperios.

Los Cuadros 25-4 y 25-5 muestran los valores de humedad de las muestras en las dos calibraciones realizadas.

Los Cuadros 25-6 y 25-7 muestran los resultados de los análisis de regresión lineal para la primera y la segunda calibración, respectivamente.

La humedad de las pruebas se ha estado controlando rápidamente con la lámpara infrarroja. Los valores obtenidos se corroboran finalmente con muestras ensayadas en el horno de convección. El análisis nutricional de la harina de yuca se presenta en el Cuadro 25-8.

Otros sistemas continuos

La sección anterior informa sobre el proceso artificial continuo desarrollado por CLAYUCA, junto con Industrias Protón Ltda., una de las empresas asociadas al Consorcio. Actualmente, tanto CLAYUCA como el CIAT emplean esta tecnología. Hay, sin embargo, en el mercado otras alternativas de procesamiento de la yuca fresca para producción de harina, las cuales se describirán brevemente a continuación.

Tecnología Super Brix-Lorenz

Este sistema es aplicado por la compañía colombiana Super Brix, con sede en Barranquilla, y por la compañía Lorenz, de Brasil. El sistema seca la pulpa desintegrada de las raíces mediante dos unidades de secadores neumáticos (*Flash Dryer*) (Figura 25-10).

Las raíces provenientes de la báscula caen por gravedad a los silos de almacenaje; desde allí son transportadas por medio de roscas sinfin a los lavadores-separadores, donde pierden la arena, las piedras y parte de la cáscara. Se emplea agua sólo en la parte final de esta operación cuando la cosecha se hace en la época de lluvias.

Cuadro 25-4. Valores de humedad de las muestras de harina de yuca en la primera calibración del horno de convección forzada a 70 °C, y de una lámpara infrarroja de 1.5 amperios (octubre de 2000).^a

Nivel de humedad	Humedad (%) en:			Nivel de humedad	Humedad (%) en:		
	Lámpara infrarroja	Liofilizador	Horno a 70 °C		Lámpara infrarroja	Liofilizador	Horno a 70 °C
1				4	16.50	15.90	15.47
	45.50	46.57	47.22		12.00	16.45	15.19
	48.50	45.90	47.17		17.50	15.79	15.36
	47.00	45.71	47.18		16.50	15.02	15.99
	48.50	45.98	47.05		18.00	11.65	15.55
	44.00	46.44	47.13		16.00	15.78	15.51
	47.00	46.34	47.22		14.50	15.84	15.29
	45.50	46.46	47.11		11.50	16.07	15.29
	46.00	45.74	47.00		19.50	16.07	15.25
	46.00	45.89	46.88		17.50	23.24	15.61
	46.50	45.54	46.86	17.50	19.72	15.67	
2	41.00	45.58	46.88	5	19.00	5.73	15.57
	34.00	34.78	33.30		17.00	7.46	15.18
	48.50	34.49	33.82		15.50	15.45	15.00
	48.50	34.68	33.96		17.00	15.49	14.98
	38.00	34.72	33.50		17.50	15.15	15.25
	43.00	34.49	33.99		17.00	14.56	15.17
	34.00	34.46	33.66		17.00	15.53	14.98
	32.50	34.79	33.66		16.50	15.54	15.26
	30.00	34.46	33.53		15.00	15.66	14.29
	48.00	33.53	33.70		17.00	15.99	14.29
	35.00	33.67	33.53		17.00	15.98	14.60
	34.50	34.20	33.70		16.00	15.81	14.90
	36.00	34.19	33.60		19.00	15.92	14.85
3	11.00	7.07	4.77	6	17.00	12.90	12.94
	7.00	7.25	6.02		15.50	14.24	13.37
	11.50	7.68	6.00		15.50	14.57	13.56
	9.50	6.95	6.12		16.50	13.96	13.61
	6.50	7.21	5.88		15.00	14.29	11.97
	11.00	7.19	5.87		17.00	14.43	12.75
	7.00	7.26	6.40		14.00	14.26	12.77
	8.00	6.67	6.69		12.00	14.09	12.43
	9.00	6.78	6.92		15.00	12.46	12.52
	8.50	6.76	6.75		12.50	13.35	13.15
	7.00	6.08	6.65		14.00	12.59	13.52
	9.00	6.35	6.77		14.00	13.59	12.54

a. Ver Cuadro 25-1, nota a.

Cuadro 25-5. Valores de humedad de las muestras de harina de yuca en la segunda calibración del horno de convección forzada a 70 °C, y de una lámpara infrarroja de 1.5 amperios (noviembre de 2000)^a.

Nivel de humedad	Humedad (%) en:				Nivel de humedad	Humedad (%) en:			
	Liofilizador	Horno a 70 °C	Lámpara 1	Lámpara 2		Liofilizador	Horno a 70 °C	Lámpara 1	Lámpara 2
1	40.319	40.278	45	43	4	2.979	2.888	6	6
	40.675	40.179	43	42		3.297	2.883	7	5
	40.238	40.995	45	43		2.886	3.184	52	5
	40.972	40.675	45	43		3.088	2.982	5	7
2	32.107	31.673	35	35	5	9.911	4.482	7	3
	32.341	32.104	34	34		5.060	4.482	8	6
	32.072	32.040	35	34		4.975	4.283	8	8
	32.607	31.746	36	33		4.582	4.382	8	8
3	11.454	10.902	7	10					
	12.314	10.990	14	19					
	11.431	9.325	14	12					
	10.558	10.317	14	13					

a. Ver Cuadro 25-1, nota a.

Cuadro 25-6. Análisis de regresión lineal para la primera calibración del horno a 70 °C y de la lámpara infrarroja vs. un liofilizador a -10 °C y a 0 mm de Hg de vacío ($y = a + bx$)^a.

Parámetro ^b	Horno (y) vs. liofilizador (x)		Lámpara (y) vs. liofilizador (x)	
	Valor	Error	Valor	Error
a	-1.03184	0.22631	1.29867	0.50608
b	1.03224	0.00859	0.96782	0.01904
r	0.99773		0.98896	
SD	0.98526		2.06529	
n	68		60	
P	<0.0001		<0.0001	

a. Ver Cuadro 25-1, nota a.

b. a = pendiente de la recta; b = corte con el eje x; r = coeficiente de regresión lineal; SD = desviación estándar; n = número de datos; P = probabilidad de error.

Cuadro 25-7. Análisis de regresión lineal para la segunda calibración del horno a 70 °C y de la lámpara infrarroja vs. un liofilizador a -10 °C y a 0 mm de Hg de vacío ($y = a + bx$)^a.

Parámetro ^b	Horno (x) vs. liofilizador (y)		Lámpara A (x) vs. liofilizador (y)		Lámpara B (x) vs. liofilizador (y)	
	Valor	Error	Valor	Error	Valor	Error
a	1.075150	0.43090	-1.14429	0.78458	-1.11218	0.98038
b	0.976664	0.01822	0.94196	0.02982	0.96848	0.03843
r	0.996881		0.99110		0.98613	
SD	1.246161		2.10267		2.62167	
n	20		20		20	
P	<00001		<0.0001		<0.0001	

a. Ver Cuadro 25-1, nota a.

b. a = pendiente de la recta; b = corte con el eje x; r = coeficiente de regresión lineal; SD = desviación estándar; n = número de datos; P = probabilidad de error.

Cuadro 25-8. Resultados del análisis proximal de la harina de yuca producida en la planta piloto^a.

Muestra	Cultivar	Proteína (%)	F.C. (%)	Cenizas (%)	E.E. (%)	CN ⁻ total (ppm)	CN ⁻ libre (ppm)
T-568-1	CM 340-30	2.67	3.96	3.31	0.92		
2	CM 340-30	2.72	4.01	3.26	0.90		
3	CM 340-30	2.54	3.82	3.39	0.50	62	57
4	MVEN 25	2.68	3.76	3.41	0.68		
5	MVEN 25	2.50	4.28	3.31	0.72		
6	MVEN 25	2.74	3.80	3.47	0.80	60	48

a. Los valores de cianuro (CN⁻) están por debajo de 100 ppm cumpliendo con normas internacionales para la harina de yuca. F.C. = fibra cruda. E.E. = extracto etéreo.

Las raíces casi limpias pasan por bandas seleccionadoras donde se retiran las piedras y otros objetos; un molino de martillos reduce luego las raíces frescas a partículas de 1 a 2 cm de diámetro. Estas partículas se depositan en tolvas de almacenamiento que permiten enviar un flujo controlado de material a los desintegradores finales, que están acoplados directamente a los secadores neumáticos.

Los secadores son alimentados con aire caliente a temperaturas de 210 a 220 °C. La pulpa de yuca se deshidrata hasta una humedad final de 13%, aproximadamente. La harina es entonces almacenada en silos, en donde su temperatura desciende antes de ser empacada y despachada.

Tecnología de Inversiones Armare Ltda.

El proceso de secamiento de trozos de yuca de esta compañía barranquillera emplea un secador rotatorio, en el cual se logra la deshidratación y la precocción de los trozos; éstos han sido presecados al sol hasta una humedad cercana al 30%. Es, por tanto, una tecnología mixta que combina un secado natural en la primera etapa y un secado artificial en la segunda.

Se pican mecánicamente las raíces frescas para obtener trozos de 5 a 7 mm de espesor, que se llevan hasta una tolva de pretostado por medio de un elevador de cangilones. Desde este silo se dosifica la entrada del material fresco al

tambor-tostador, el cual funciona con aire caliente a temperaturas cercanas a los 100 °C. Cuando los trozos han llegado al 13% de humedad, se llevan a una torre enfriadora para bajar su temperatura; luego se transportan a una tolva de almacenamiento (Figura 25-11).

Tecnología de la Empresa Metalúrgica Colombiana (EMC)

El proceso de producción de harina de yuca de la EMC, una empresa industrial de Bucaramanga, Colombia, se basa en un secador rotatorio igual a la tecnología artificial anterior.

Se reduce primero el tamaño de las raíces en una picadora (o trozadora) de yuca convencional; luego se alimenta con trozos de yuca el tambor deshidratador por medio de un transportador sinfín (Figura 25-12). Allí los trozos se secan con aire caliente a temperaturas superiores a 100 °C. El tambor rotatorio tiene acoplado en uno de sus extremos un ciclón para recoger las partículas finas que logran escapar en el flujo de aire caliente. Finalmente, los trozos secos se reducen a harina integral por medio de un molino de martillo convencional.

Referencia

CLAYUCA (Consortio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y Desarrollo de la Yuca). 2001. Nuevas opciones para la yuca. Continente Yuquero (Cali) 3:13.

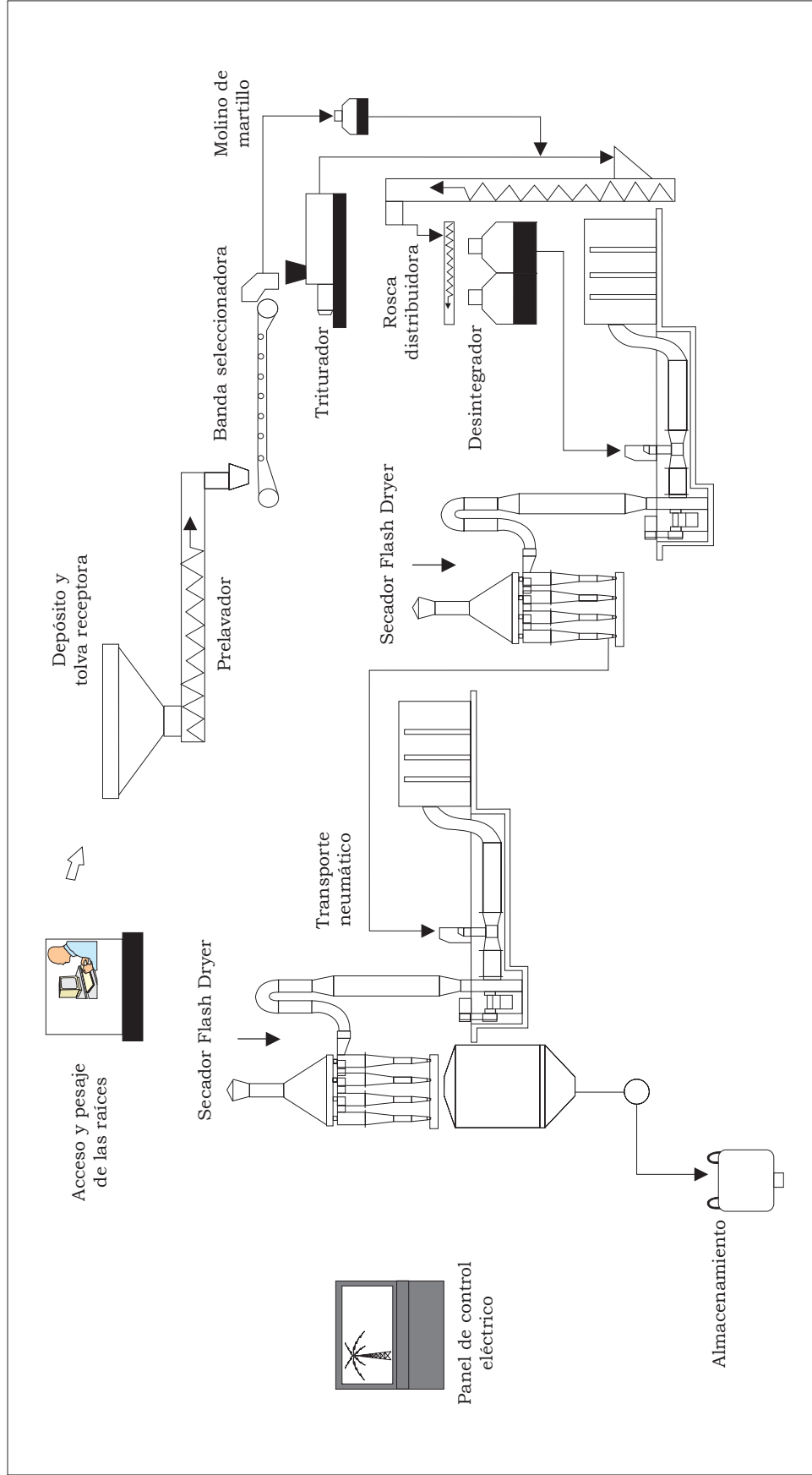


Figura 25-10. Diagrama de flujo de una planta agroindustrial diseñada para la obtención de harina de yuca, con una eficiencia de 50 t/día.

FUENTE: Super Brix-Lorenz, Documento de trabajo. Super Brix S.A., A. A. 148, Barranquilla, Colombia. E-mail: subrix@metrotel.net.co

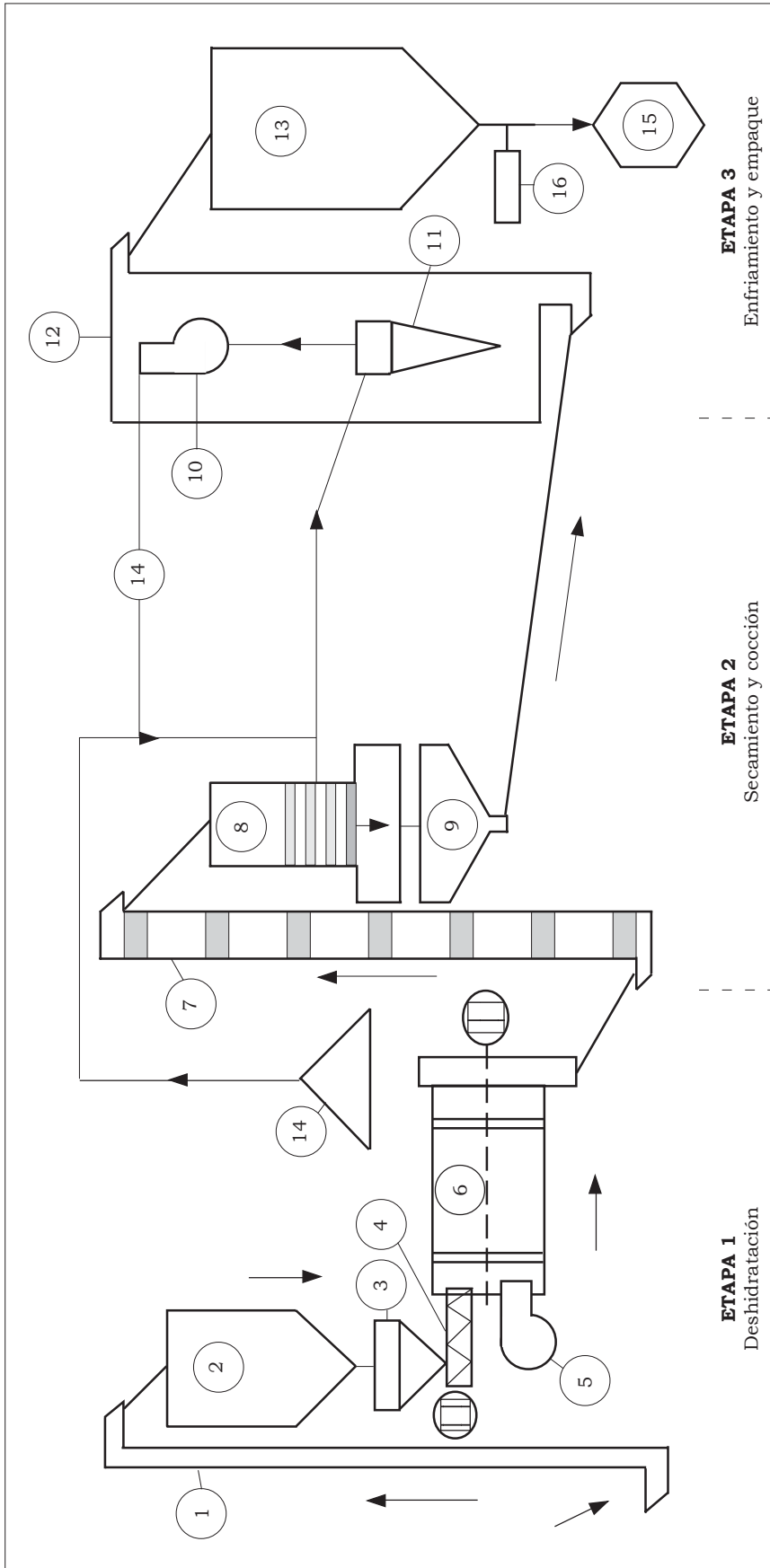


Figura 25-11. Diagrama de flujo de un sistema típico para secar (y tostar) trozos de yuca. 1 = transportador; 2 = lavadora; 3 = picadora; 4 = transportador de banda y dosificador (o carrito cargador para el patio); 5 = turbina; 6 = deshidratador (o patio oreador de yuca picada); 7 = elevador de cangilones; 8 = deshidratador (de tambor fluidizado); 9 = precocción (horno tostador) y esclusa; 10 = turbina; 11 = ciclón; 12 = transportador y enfriador neumáticos; 13 = silo de producto terminado (almacenamiento); 14 = reciclaje de aire caliente (ciclón y turbina); 15 = empaque del producto final; 16 = compuerta neumática.

FUENTE: Volante publicitario. Inversiones Armare Ltda., Calle 42, no. 35-30, A. A. 1015, Barranquilla, Colombia. E-mail: mtobar@celcaribe.net.co

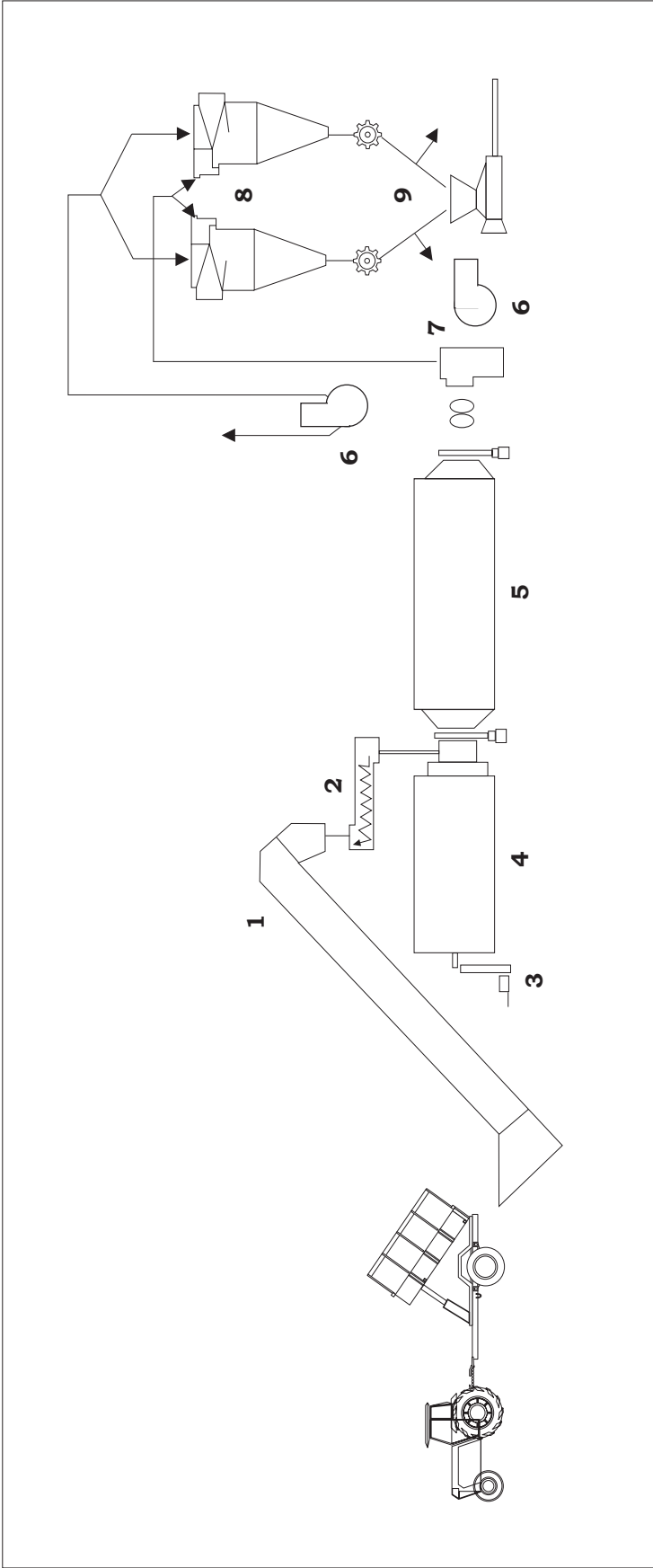


Figura 25-12. Diagrama de flujo de la planta deshidratadora de yuca EMC para la producción de trozos; 2 = transportador sinfin; 3 = motor; 4 = tambor deshidratador; 5 = tambor rotatorio; 6 = molino de martillo; 7 = precocción; 8 = molino de martillo; 9 = silo y empaque.

FUENTE: Volante publicitario 'Deshidratadora Rotatoria EMC'. Empresa Metalúrgica Colombiana (EMC), A. A. 978, Bucaramanga, Colombia.