

INDUSTRIALIZACION DE LA YUCA

Jacob Pino C.
Luis Gabriel Villa V. *

1. INTRODUCCION

En el tema sobre Industrialización de la Yuca se considerarán dos tipos de producto final : la producción de harina "integral" de yuca que se utiliza para la producción de concentrados para animales y la producción de almidón para consumo humano o para aplicaciones industriales no asociadas con la alimentación.

Tanto la producción de harina integral como de almidón de yuca, implica operaciones unitarias que pueden efectuarse con un mínimo de sofisticación y equipo, y por ello adaptable para industrias caseras, a nivel de agricultor. Sin embargo, existe una tecnología totalmente desarrollada para efectuar tales operaciones a nivel industrial. En el presente trabajo se describirán las dos situaciones.

En la redacción de este material se han utilizado los trabajos de Holleman y Aten (1956) y Roa (1974) en forma amplia. En algunos casos se han transcrito párrafos completos de las mencionadas obras. Se sugiere su lectura a quien esté interesado en profundizar en el tema.

* Ingenieros Agrónomos M.S. y Ph. D. Profesores de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Nacional - Medellín, respectivamente.

2. ELABORACION DE HARINA INTEGRAL DE YUCA

El Mercado Común Europeo importa cantidades importantes de este material para utilizarlo como una fuente de carbohidratos. El valor actual de tales importaciones es de un millón de dólares con tendencia al aumento. La demanda interna en el país, podría incrementarse a medida que se conozca su valor nutritivo.

En la industria de concentrados de animales, la yuca se utiliza en forma de pelletizados y en tajadas o "chips". Las tajadas son producidas en Tailandia e Indonesia efectuando un corte mecánico de la yuca y secando el material al sol. En el Brasil el material es cortado, comprimido y secado en secadores continuos. El producto es entonces pulverizado con molinos de martillo, resultando la harina de yuca. La limpieza y el pelado anterior a estos procesos, se efectúa manualmente o por medio de máquinas económicas. El pelletizado de yuca se produce a partir de la harina utilizando maquinaria especial.

Diferentes tipos de cortadoras, han sido diseñados Hachero (1951), Gil (1972), Grace (1971), Lavigne (1966), pero las características de tamaño más deseables para el secado y manejo, no han sido especificadas. La máquina más generalizada consiste de un disco cortador rotatorio el cual produce rodajas delgadas, no uniformes, de una alta relación superficie y volumen. El material resultante es frágil cuando húmedo y polvoso cuando seco.

Roa (1974), diseñó dos mecanismos de corte de bajo costo, con los cuales es posible producir "barras" rectangulares de yuca, forma geométrica óptima para su secado. Los mecanismos son: a) Una prensa manual y b) Un disco cortador que produce las barras rectangulares a una tasa de

240 kg/Ha cuando es operada por un mecanismo de pedal de bicicleta, a 500 kg/Ha cuando es operada por un motor.

Para el secado natural los procedimientos recomendados son los siguientes :

- a. El producto debe esparcirse sobre pisos de concreto o en bandejas de madera tan pronto como sea cortado.
- b. La densidad de la capa no debe exceder de 5 a 15 kg/m²
- c. El material debe revolverse periódicamente durante el secado
- d. Si amenaza lluvia el material debe apilonarse bajo techo o cubrirse
- e. Tajadas secas con contenidos de humedad menor al 13% (base húmeda) pueden almacenarse por más de un año sin que se presenten hongos. A contenidos de humedad mayores el daño por hongos, aumenta la forma proporcional al contenido de humedad.
- f. En condiciones favorables de sol el período de secado es de 2 a 5 días Grace (1971), Kuppuswamy (1962), Lavigne (1966) .

Lavigne (1966) concluyó en su estudio sobre secado natural de yuca, que si las bandejas eran cargadas con 10 a 15 kg/m² y se revolvían diariamente, tomarían alrededor de 70 horas de sol en su secado.

Onn (1972) condujo un número de experimentos de secado con tajadas de yuca, utilizando aire calentado mediante un colector de energía solar y moviendo el aire a través del producto por medio de un ventilador, encontrando problemas para una circulación uniforme del aire. Concluyó que el secado de capas profundas de yuca con energía solar no era práctico.

Gill (1972) secó tajadas de yuca en bandejas con aire calentado artificialmente y forzado el aire a través del producto por medio de un ventilador, encontrando igualmente problemas de circulación.

Roa (1974) condujo experimentos y desarrolló importantes análisis teóricos sobre el secado solar de diferentes variedades y edades de yuca con el objeto de evaluar los diseños convencionales y mejorados para condiciones ambientales variables. Diferencias en los sistemas fueron atribuidos a la posición relativa de las capas del producto (colocado en bandejas de malla) y al tipo de piso o a diferentes formas geométricas de las partículas de yuca. La influencia de las variedades y de la edad no fueron significativas en cuanto a su secado.

Un tipo de secador vertical consistente en dos paneles paralelos de malla de alambre fue utilizado en forma eficiente para el secado. La capa de yuca toma casi toda la energía requerida para la evaporación de la entalpía del aire. La posición vertical de la capa y la forma de "barra" rectangulares permite al aire moverse a través del producto y crear turbulencia. El aire cede parte de su calor sensible y remueve la humedad del producto en estado de vapor. Cuando la capa vertical de yuca se cubrió con un techo, la velocidad de secado no se redujo; de tal manera que el secado continúa durante la noche o cuando llueve. El secado del producto en bandejas de malla colocadas horizontalmente, en forma elevada, es un método menos eficiente que los secadores verticales, pero más eficientes que los secadores convencionales sobre piso de concreto, Roa (1974).

Un criterio de deterioro fue establecido por Roa (1974), para recomendar las máximas densidades permisibles para secar en forma segura en diferentes condiciones ambientales para diferentes métodos de secado.

Con el trabajo de Roa (1974) también se presenta un análisis de costo de operaciones comerciales y una discusión sobre las limitaciones del secado natural de yuca. Se recomienda la lectura completa de su trabajo de investigación a los interesados en el tema.

3. ELABORACION DE ALMIDON DE YUCA

Para la manufactura del almidón de yuca es fundamental separar los gránulos de almidón del tubérculo en la forma más pura posible. Los gránulos están encerrados en células junto con los demás constituyentes del protoplasma y pueden separarse por un proceso de purificación con agua. La elaboración del almidón de yuca puede dividirse en las siguientes fases :

1. Trituración de las células y separación de los gránulos de las demás sustancias insolubles: Esta fase comprende el lavado, pelado y rallado de las raíces y el cernido de la masa.
2. Sustitución por agua pura de la solución acuosa que rodea los granos de fécula en la masa : Esta fase comprende la sedimentación y el lavado.
3. Secado
4. Trituración y cernido : Este método de elaboración es esencial para preparar toda clase de féculas; sin embargo, en el caso de la yuca, debido principalmente al poco contenido de sustancias secundarias la separación se hace con gran facilidad en todas las fases, mientras que en el maíz y otros cereales la molienda de la semilla y la separación mecánica del germen y el pericarpio del grano presentan problemas especiales en la fase 1, y la separación de las proteínas y otras

materias del protoplasma sólo pueden conseguirse en la fase 2, con la ayuda de productos químicos; cuando se trata de yuca, estas operaciones pueden reducirse al mínimo. Realmente es fácil obtener almidón de yuca de buena calidad sin aparatos especializados, lo cual hace que esta industria sea apropiada para zonas rurales.

Es necesario, sin embargo, para un buen éxito en la obtención de almidón de yuca, que este proceso se realice en el menor tiempo posible, ya que la acción enzimática, que generalmente tiene un efecto perjudicial en la calidad del producto final, puede desarrollarse en la cosecha y en las labores posteriores. Por esta razón es necesario organizar todas las labores con el fin de eliminar los trastornos en la preparación del almidón.

Las etapas que generalmente se presentan en la manufactura de almidón de yuca, son :

Lavado y pelado

Rallado

Tamizado

Sedimentado

Secamiento

Cernido

LAVADO Y PELADO

Son labores que facilitan la extracción del almidón y es básica para la obtención de un producto de buena calidad.

La lavada y pelada del tubérculo se realiza en nuestro medio, bien sea manual o mecánicamente, dependiendo del tipo de empresa.

La labor manual la ejecutan por lo común la mano de obra hogareña. En ella las raíces se cortan longitudinal y transversalmente hasta una profundidad que corresponda a la del espesor de la cáscara, la cual se quita entonces con la mayor facilidad. El tubérculo pelado es depositado en tanques hasta el momento de la rallada. Es conveniente que el agua de estos estanques sea agitada para que las impurezas sean removidas.

En las grandes factorías el lavado y pelado de la yuca consiste en separar las impurezas y el pericarpio del tubérculo. Esto se realiza en forma mecánica. Los equipos, desde los rudimentarios hasta los modernos, funcionan en base de frotamiento de un tubérculo con otro o con las superficies del equipo. Este proceso va acompañado de agua estancada o a presión.

Los equipos de lavado y pelado, pueden ser continuos o para un volumen determinado (batches). Tienen diferentes formas, aunque la más común es la cilíndrica. Estos cilindros, tienen la superficie interna rugosa y algunos llevan en su interior aspas que además de agitar transportan las raíces al punto de descarga.

RALLADO

El rallado, es una reducción de tamaño del tubérculo que tiene como finalidad el rompimiento de las células para dar libertad a los gránulos del almidón. El porcentaje de almidón liberado recibe el nombre de efecto rallador. Su valor después de un rallado oscila entre 70 y 90% y expresa la eficiencia de la operación e influye desde luego en el rendimiento de la planta. El efecto rallador está dado por la siguiente fórmula :

$$R = \left(1 - \frac{Sw \ Fr}{Sr \ Fw}\right) \times 100$$

- R = Efecto rallador en porciento
 Fr = Contenido de fibra en el tubérculo
 Fw = Contenido de fibra de los desperdicios de la pulpa
 Sr = Contenido de fécula del tubérculo
 Sw = Contenido de fécula de los desperdicios de la pulpa

Los sistemas más empleados para rallado son :

- a. Rallado a mano : Para esto se construyen rallos, hechos al perforar una lámina de hierro galvanizado o zinc con la ayuda de un clavo, de tal manera, que los bordes salientes y aguzados de los agujeros queden hacia la parte exterior. Sobre estos agujeros se frota la raíz y de esta forma se va reduciendo su tamaño. A las láminas perforadas se les puede dar diferente forma: plana, semi-esférica o cilíndrica. Cuando el rallo tiene forma cilíndrica, se puede unir a una rueda, la cual se puede mover manualmente o por medio de pedales.
- b. Rallado mecánico : En esta operación el mecanismo reductor de tamaño va unido a una fuente de potencia que puede ser una rueda hidráulica, un motor de gasolina de a. c. p. m. o un motor eléctrico.

La capacidad de los equipos mecánicos varía según su sistema reductor y su tamaño. Un sistema reductor en forma de rayo circular, girando a 1.000 R. P. M. puede tener una capacidad de 4 ton. de yuca por hora, en cambio un molino de discos a 4.500 R. P. M. puede rendir 10-15 ton. por hora.

El equipo de reducción de tamaño influye en el efecto rallador. Cuando el efecto rallador es muy bajo, es conveniente hacer una segunda reducción de tamaño. Una máquina moderna puede tener un efecto rallador del 85%; con un segundo rallado, este efecto se puede elevar a un 93%, para este segundo rallado o se ajusta el mismo equipo adecuadamente, o se efectúa en otro equipo diferente.

TAMIZADO

Consiste en separar la pulpa de la fécula por medio de un tamiz, con la ayuda de abundante agua y un agitador.

Los siguientes son los sistemas empleados en el tamizado :

- a. Tamizado a mano : Para ello se pone una cantidad de masa rallada en una tela sujeta a cuatro estacas, colocada encima de un recipiente o canaleta que conduce a tanques sedimentadores. La masa se agita fuertemente con las manos, hasta que el agua salga casi totalmente clara.
- b. Tamiz giratorio : Consiste en un tamiz circular o semi-circular, hecho de tela o de cualquier otra fibra resistente a la acción de los componentes de la masa. Dentro de este tamiz, se colocan agitadores-transportadores en forma de paletas o de tornillo sin fin.
- c. Tamiz vibratorio o zaranda : Consiste en uno o varios tamices colocados en serie sobre mecanismos inclinados que les dan un movimiento vibratorio. Los tamices, son hechos de diferentes fibras : algodón, sintéticas, nylon, etc. El tamaño de las perforaciones del tamiz más usadas son 80, 150 y 260 mallas por pulgada cuadrada.

Es importante mantener limpias las perforaciones de los tamices para que el equipo opere con la capacidad esperada. Esta limpieza se puede hacer en forma manual, por medio de agua o de productos químicos.

La separación de la fécula del resto de masa, se puede realizar también por medio de centrífugas. Estos equipos son empleados en grandes beneficiadoras de yuca en donde se alcanzan a procesar hasta 300 ton. de yuca en 24 horas.

SEDIMENTACION O DECANTADO

En la preparación de almidón de yuca, el término sedimentación comprende todas las operaciones que tienen por objeto separar la fécula pura de las materias solubles que la acompañan. La calidad de la harina producida depende en gran medida de la correcta ejecución de la sedimentación.

Se ha dicho ya, que todo el proceso de elaboración del almidón debe ejecutarse en el menor tiempo posible. Esta condición se aplica especialmente a la separación de la fécula libre de la lechada, puesto que en esta suspensión se manifiestan rápidamente procesos de naturaleza físico-químico o enzimática o de ambas clases. En el primer caso, los fenómenos conducen a la formación de complejos muy estables constituidos por fécula y proteínas, materias grasas, etc. Resulta casi imposible separar la fécula pura contenida en estas combinaciones y tales procesos rebajan considerablemente el valor del almidón para muchas aplicaciones.

Además, la parte acuosa de la suspensión por ser bastante rica en azúcares y otros elementos nutritivos, comienza a producir microorganismos que dan por resultado una intensa fermentación. Se producen alcoholes y ácidos orgánicos como el butírico.

Como consecuencia de la necesidad de hacer la extracción de almidón en el menor tiempo posible, todas las labores se han venido tecnificando de tal manera, que el tiempo desde el rallado hasta el secado ha quedado reducido a una hora aproximadamente.

Una partícula esférica suspendida en un medio líquido, adquiere rápidamente bajo la acción de la gravedad o de una fuerza centrífuga un movimiento de velocidad constante, que es proporcional a la diferencia de su densidad con relación a la del medio y al cuadrado de su diámetro, e inversamente proporcional a la viscosidad del medio. Es decir :

$$V = \frac{2r^2 (dp - d) a}{9u}$$

V = velocidad de la partícula en pies por segundo

r = radio de la partícula, pies

dp = densidad de la partícula, lb por pie³

d = densidad del medio,

Lb = por pie³

a = aceleración, lb por seg.²

u = viscosidad, lb por pie-seg.

En la lechada de almidón la rapidez de la sedimentación depende principalmente del diámetro de los gránulos, aunque también influye el pH del medio, su contenido de proteínas y otras materias coloidales.

El diámetro de los granos de almidón varía entre 4 y 24 micrones y por ello es lógico que se observe una graduación de acuerdo con el tamaño de los gránulos en las capas de sedimento que se depositan sucesivamente. Esta graduación será tanto más definida cuanto mayor sea el camino recorrido por los sedimentos desde la mezcla en suspensión inicial.

Los principales sistemas de sedimentación son :

- a. Sedimentación en tanques : Es un método primitivo pero bastante usado entre nosotros. Tiene una duración de seis horas. El tamaño y el número de tanques dependen del volumen de producción. Es importante que el almidón no esté en contacto con el cemento durante más tiempo del preciso puesto que esto va en detrimento de la calidad del almidón. Por tal razón, el fondo de los depósitos debe recubrirse de madera u otros materiales resistentes a la acción de los productos solubles de la yuca. Este recubrimiento se puede realizar también por las paredes del tanque hasta una altura de 10 a 15 cm. En las paredes del tanque deben existir orificios, preferiblemente a alturas diferentes, para evacuar el líquido excedente. Al salir la última parte del líquido, éste acarrea consigo cantidades apreciables de las fracciones más ligeras de la fécula de las capas superiores del sedimento y como, en general estas aguas no se someten a nuevo tratamiento en los molinos pequeños, representan una pérdida que, junto a la fécula que quedó originalmente en suspensión, puede estimarse entre el 5 y el 10 por ciento del almidón producido.

La capa superior del almidón sedimentado, que tiene un color amarillo verdoso se extrae y puede ser utilizada en la alimentación de animales. El almidón restante es llevado de los tanques a los sitios de secamiento. En algunas industrias se le agrega de nuevo agua a este almidón húmedo y se agita para ponerse a sedimentar de nuevo. En casi todos los casos bastan dos sedimentaciones para obtener un almidón lo suficientemente limpio. En algunas fábricas que producen almidones con fines especiales la sedimentación puede repetirse varias veces con o sin la adición de productos químicos.

- b. Sedimentación en canalizos : También se les da el nombre de masas de sedimentación. Este sistema consiste en un canal poco profundo de unos 50 m. de longitud, 30 cm. de profundidad y de anchura variable según la producción diaria de fécula. El fondo está revestido de madera o baldosa. Es horizontal, aunque en ocasiones se le da una pequeña inclinación de aproximadamente 1.0%.

La lechada de almidón entra por la parte superior del canal. El líquido excedente que se hace salir por el extremo opuesto debe estar casi libre de fécula.

Cuando se efectúa la sedimentación, los gránulos de almidón siguen una trayectoria oblicua a causa del movimiento horizontal de la lechada. Cuanto más tiempo tarde una partícula en llegar al fondo, tanto más alejada estará del lugar de origen. La estratificación obtenida aquí, se convierte entonces en una diferenciación por tamaño de los gránulos a lo largo del canal. De aquí, que las fibras, impurezas livianas y proteína que se depositan lentamente, pueden ser retiradas al extremo del canal, mientras que los gránulos de almidón de mayor tamaño, son depositados cerca a la cabecera del canal.

- c. Separación por centrifugación : Mediante la centrifugación se consigue una rápida separación de los granos de almidón del líquido de la lechada, con la consiguiente mejora de la calidad del producto acabado. Sin embargo, la centrifugación por sí sola no puede sustituir por completo a la sedimentación por acción de la gravedad. Después de la centrifugación, hay que separar todavía algunas impurezas sólidas por medio de sedimentadores.

Uno de los separadores centrífugos más usados consiste fundamentalmente en un cilindro no perforado, con un raspador en espiral para

retirar la fécula. El tambor gira en un marco provisto de cojines en ambos lados. Mediante una caja de velocidad, el tambor y el raspador se mueven a velocidades algo diferentes. La lechada entra al tambor, que es ligeramente cónico, cerca de su parte estrecha y pasa al otro extremo donde está colocada la descarga del líquido excedente. Durante el paso por el tambor la lechada deja en libertad los gránulos de fécula y otras materias sólidas, las cuales se concentran en la periferia de donde son retirados por el raspador y transportados en contra corriente hasta el extremo estrecho, por donde se descargan agregándole agua limpia. Luego es sedimentada en tanques o en canales

SECAMIENTO

Es el principal problema que presenta la industria de almidón de yuca, especialmente a nivel rural. En el secamiento es necesario llevar el almidón a un contenido de humedad del 12.5 al 13.5. Para efectuar esta labor, se emplean los siguientes sistemas :

- a. Secado al sol : Consiste en exponer el almidón a los rayos del sol. Para esto la fécula se coloca en recipientes, camillas o patios. Aunque es un sistema económico, es lento, sujeto a las condiciones ambientales, a contaminaciones y a pérdida por arrastre por el aire.

Es importante anotar, que los rayos ultravioleta del sol producen una acción blanqueadora sobre el almidón.

- b. Secamiento artificial : Son varios los equipos que se emplean para este fin. Entre los más usados figuran :

- **Horno secador.** Está constituido por una cámara de combustión de ladrillo, recubierta con planchas de hierro galvanizado o de cobre, sobre las cuales se colocan el almidón húmedo en capas delgadas.

- **Secador de cámara.** Está formado por compartimentos los cuales tienen dispositivos de calentamiento, de ventilación y de control. El material húmedo se coloca en bandejas que se introducen directamente en la cámara secadora o se cargan sobre un carro que se hace entrar al secador.

- **Secador de tambor.** Consiste en un tambor giratorio horizontal e inclinado, que es calentado desde el exterior y por uno de cuyos extremos entra el almidón húmedo. Durante su movimiento dentro del cilindro, el producto sede su humedad a una corriente de aire seco.

- **Secador de banda.** En este equipo, el almidón es transportado en medio de una corriente de aire caliente, a lo largo de una serie de bandas montadas una sobre otra en distintos planos. Se echa el material húmedo en la banda superior y sobre ésta recorre toda la longitud de la máquina, al llegar al extremo cae a la que está debajo que se mueve en sentido contrario, y así sucesivamente. Al caer de una correa a la otra, la fécula se voltea y ventila.

- **Secado por centrifugación.** Este método se emplea para bajar el contenido de humedad hasta un 35-40%. Luego el secado se hace por evaporación.

Las centrifugadoras empleadas para este objeto consisten en un tambor perforado revestido de un filtro de gasa, de tela metálica o de malla fina.

La alimentación de la fécula se hace a unos 23° Bé. Durante la centrifugación el agua se elimina a través del filtro y la fécula se deposita en las paredes del tambor formando una torta cilíndrica.

TRITURACION Y CERNIDO

El almidón sin elaborar está constituido por terrones duros. Esto hace necesario someter el producto a un proceso de pulverización y tamizado. A estas últimas operaciones se les llama ordinariamente cernido.

En empresas pequeñas es común que la labor de trituración se haga a mano sobre una malla, la cual realiza el cernido.

En empresas de mayor tamaño, se emplean molinos de rodillos lisos o acanalados para la trituración.

Para el cernido, el almidón se hace pasar por tamices entre 100 a 200 mallas por pulgada.

BIBLIOGRAFIA

1. GILL, K.S. 1972. Drying Regimes for Artificial Heat Dryina of Tapioca Chips. Proyect Paper. Faculty of Agriculture, University of Malaya. Pantai Valley, Malaysia.
2. GRACE, M. 1971. Processing of Cassava. Agricultural Services Bulletin No. 8. FAO, Rome.

3. HACERO, L.E. 1951. A cottage Cassava Slicer. Philippine Agricultural Journal, ~~Manila~~ Manila, Philippines.
4. HOLEMAN, L.W.J. 1956. Elaboración de la yuca y sus productos en las Industrias Rurales. FAO. Cuaderno de Fomento Agropecuario No. 54. 123 p.
5. KUPPUSWAMY, S. 1962. Studies on the Dehydration of Tapioca, Food Science. 11(4):99-100.
6. LAVIGNE, R. 1966. Etude sur le Séchage du manioc. Bull. Madagascar 16(240):442-466.
7. ONN, F.K. 1972. A Solar Drier for Drying Tapioca Chips. Unpublished B.S. Thesis Faculty of Agriculture, University of Malaya Pantai Valley, Malaysia.
8. ROA, G. 1974. Natural Drying of Cassava. Unpublished Ph. D. Thesis. Department of Agricultural Engineering. Michigan State University.