

CAPÍTULO 26

Almidón Agrio de Yuca en Colombia¹

Introducción

El almidón agrio de yuca es un producto fermentado para uso de la industria de alimentos. Su obtención ha sido el resultado de una labor doméstica realizada por familias enteras en las áreas rurales, principalmente, y con equipos manuales rústicos de fabricación casera. Este almidón se ha utilizado como ingrediente en la preparación de diversos alimentos, en especial, los de origen regional o típicos.

En Colombia, la extracción de almidón de yuca como actividad agroindustrial empezó en los años 50. La demanda de almidón aumentó en los años siguientes y la extracción del producto se convirtió en una agroindustria netamente artesanal. Se introdujeron, entonces, innovaciones mecánicas en algunas etapas del proceso y se logró aumentar la capacidad productiva de estas pequeñas fábricas, que empezaron a llamarse “rallanderías” o “ralladeros”. Esta actividad permitió el desarrollo socioeconómico de las familias de escasos recursos que pueblan el norte del departamento del Cauca, Colombia (CECORA, 1988).

Se han establecido en Colombia más de 200 “rallanderías” dedicadas a la producción de almidón agrio de yuca, el cual se destina a la elaboración de productos de panadería (pandebono, pan de yuca y otros), que aprovechan las propiedades especiales de expansión de este almidón.

Los principios del procesamiento del almidón agrio se aplican en todas las “rallanderías”, aunque varía mucho la tecnología empleada. Se encuentran, por ejemplo, “rallanderías” en las que el proceso es completamente artesanal, otras que ya están mecanizadas, pero siguen siendo muy tradicionales, y algunas más que, aun estando más tecnificadas, permanecen en el nivel de la industria a pequeña escala (Zakhia et al., 1996).

Hay, además, fábricas que producen almidón de yuca nativo o natural (sin fermentar) a gran escala, en los departamentos de Atlántico y Sucre; este proceso tiene un nivel más alto de tecnificación. El almidón nativo (conocido como almidón dulce de yuca) se emplea en el sector industrial, principalmente en la fabricación de papel, en la preparación de pegantes, en la industria textil (engomado de telas de algodón), en la industria de alimentos preparados, en la perforación de pozos petroleros y en la fabricación de dinamita.

En 1989, el CIRAD-SAR (actualmente, CIRAD-AMIS) y el CIAT iniciaron el Proyecto Valorización de la Yuca en América Latina, con el fin de mejorar la tecnología tradicional empleada en el procesamiento de almidones de yuca en pequeña escala. El objetivo era desarrollar y transferir a los productores rurales una tecnología de procesamiento que mejorara la rentabilidad del proceso de extracción y la calidad del almidón que obtenían (Chuzel y Muchnik, 1993).

La mayoría de las actividades de este proyecto, incluyendo una importante encuesta hecha a los productores en 1995, se realizaron en el departamento del Cauca, donde las

1. Tomado de la obra del mismo nombre cuyos autores son Freddy Alarcón M. y Dominique Dufour. 1998.
E-mail: alarconf@hotmail.com y dominique.dufour@cirad.fr

“rallanderías” se levantan a lado y lado de la carretera Panamericana que, en esa región, une a Pasto con Popayán y con Cali. Estas “rallanderías” se dedican básicamente a la producción de almidón agrio de yuca; sólo unas pocas producen almidón natural.

El objetivo de este proyecto colaborativo fue mejorar tecnológicamente el procesamiento dado a la yuca para obtener de esa raíz almidón natural y almidón agrio. Estos resultados pueden aplicarse en la mayor parte de las zonas productoras de yuca de América Latina, Asia y África que cuenten con un adecuado suministro de agua. El propósito último de los proyectos mencionados (Valorización de la Yuca en América Latina y Desarrollo de Agroempresas Rurales) es extender estas innovaciones tecnológicas entre los pequeños agricultores del trópico, para que mejoren su nivel de vida, valiéndose de un producto agrícola que hasta hoy les ha servido sólo como medio de subsistencia.

Desde 1991, los dos proyectos han transferido la tecnología de extracción de almidón agrio de yuca (aquí descrita) a diversas regiones de Colombia. En 1993 y 1994, continuaron esta labor de transferencia en Ecuador. En 1997 y 1998, el segundo proyecto (Desarrollo de Agroempresas Rurales) llevó la tecnología del almidón agrio a algunas regiones yuqueras de Nicaragua, y actualmente estudia la factibilidad de su transferencia a otros países de América Latina y a otros continentes.

El Cultivo de la Yuca

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es una especie de raíces amiláceas que se cultiva en los trópicos y subtrópicos. A pesar de que es uno de los cultivos alimenticios más importantes de los países tropicales, fuera de ellos es muy poco conocida.

La yuca es originaria de América tropical. Antes de 1600, los exploradores portugueses la llevaron a África y Asia. La yuca se siembra hoy en 92 países, donde alimenta a más de 500 millones de personas.

Planta y cultivo

Hay actualmente más de 5000 variedades de yuca, cada una con características peculiares.

Sus flores (masculina y femenina) son pequeñas y la polinización cruzada es frecuente. El fruto es dehiscente y las semillas pequeñas y ovaladas. La raíz es cónica y tiene una corteza externa y otra interna (de color blanco o rosado). Los tallos maduros se cortan en estacas de 7 a 30 cm de longitud, con las cuales se propaga la planta.

En condiciones experimentales y en monocultivo, la yuca rinde hasta 90 t/ha de raíces (25 a 30 t/ha de materia seca); sin embargo, el rendimiento promedio, en condiciones reales (suelos marginales, climas severos y asociación con otros cultivos) es de 9.8 t/ha en el mundo (12.4 t/ha en América Latina). Con 1 t (1000 kg) de yuca fresca se pueden obtener 280 kg de harina, 230 kg de almidón, 350 kg de trozos secos o 170 litros de alcohol (CIAT, 1996).

Aunque la yuca es un cultivo resistente, puede sufrir tres enfermedades importantes: el añublo bacteriano (en hojas y tallos), las pudriciones de la raíz, y el virus del mosaico africano (en África solamente). Varios insectos chupadores (ácaro verde, piojo harinoso, mosca blanca) y algunos fitófagos (gusano cachón) atacan las hojas; una chinche y un piojo subterráneo dañan a veces las raíces.

La yuca tolera la sequía (sin reducir su producción) porque posee tres características particulares: los estomas se cierran cuando el aire está seco, las raíces extraen agua del suelo profundo (hasta 2.5 m), y su sistema fotosintético fija el carbono atmosférico aun disponiendo de poca agua (en estrés hídrico prolongado).

Este cultivo sobrevive en suelos escasos en fósforo porque establece asociaciones (micorriza) con hongos que suministran ese elemento; también se desarrolla en suelos ácidos (con aluminio). La yuca no tolera un suelo inundado. Las raíces pueden cosecharse a los 7 meses de plantado el cultivo y pueden permanecer en el suelo hasta 3 años; una vez cosechadas, se deterioran en 3 ó 4 días; por tanto, deben consumirse o procesarse sin demora.

La yuca no se debe considerar simplemente como un cultivo para consumo humano, puesto que una parte apreciable de la producción es procesada y se mercadea convertida en almidón y en otros productos. Aunque ya empiezan a reconocerse los méritos de este cultivo, se teme a menudo que su expansión pueda degradar la fertilidad de los suelos y erosionarlos, particularmente de aquellos que se consideran marginales en agricultura.

En realidad, la yuca extrae de los suelos una cantidad de nutrientes similar a la que extraen otros cultivos; además, con un manejo agronómico adecuado, su producción es sostenible. Asimismo, la yuca tiene habilidad para crecer en suelos ya desgastados, ventaja extraordinaria que, unida a su gran potencial de producción, augura al cultivo una perspectiva de consideración como fuente básica de energía para las regiones marginales de los trópicos (Cock, 1989).

La yuca se adapta a una gran variedad de condiciones climáticas, aunque prefiere el clima húmedo y cálido. Se desarrolla muy bien entre las latitudes 30° N y 30° S.

Análisis de la raíz

La raíz de la yuca (Figura 26-1) se compone de tres tejidos: el periderma (cascarilla), el parénquima cortical (corteza) y el parénquima interior (Figura 26-2).

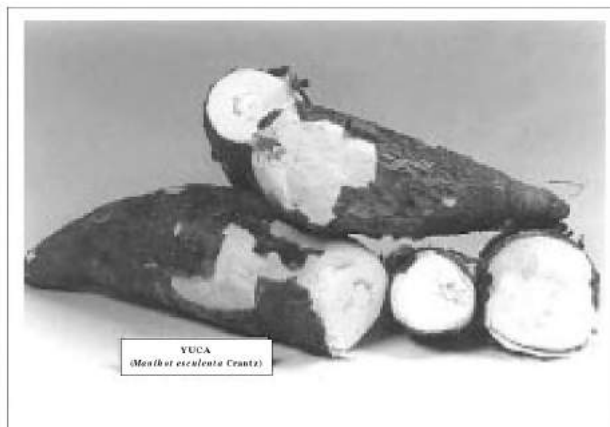


Figura 26-1. Raíces de yuca ya cosechadas. Nótase la corteza externa parcialmente desprendida.

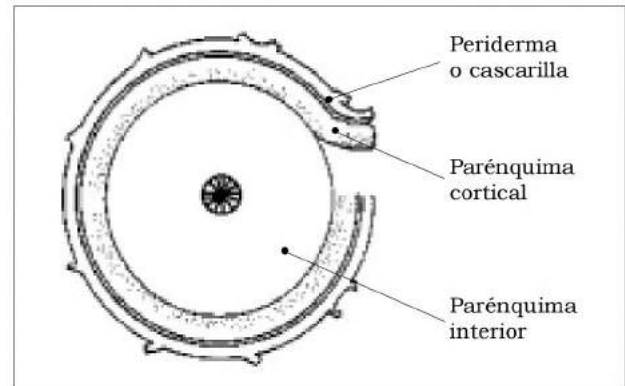


Figura 26-2. Corte transversal de la raíz de yuca.

- El 80% del peso fresco de la raíz, aproximadamente, corresponde al **parénquima** o pulpa, que es el tejido en que la planta almacena el almidón.
- El contenido de materia seca de la raíz de yuca fluctúa entre 30% y 40%.
- La materia seca del parénquima está constituida, en su mayor parte (90% a 95%), por la fracción no nitrogenada, es decir, por carbohidratos (almidón y azúcares).
- El resto de esta materia seca corresponde a fibra (1% a 2%), grasas (0.5% a 1.0%), cenizas o minerales (1.5% a 2.5%) y proteína (2.0%).
- El almidón representa, además, la mayor parte de los carbohidratos (96%) y es, por tanto, el principal componente de la materia seca de la raíz.

Las variedades cultivadas para uso industrial deben tener un alto contenido de almidón (Wheatley, 1991).

Cianógenos

La yuca contiene un **glucósido cianogénico** llamado linamarina que, en presencia de enzimas (linamarasa, principalmente) y en medio ácido, se hidroliza y libera ácido cianhídrico (HCN) en cantidades que representan desde una dosis inocua hasta una tóxica y mortal. Esta reacción ocurre generalmente en los tejidos descompuestos de la planta o en el tracto digestivo de los animales.

Aunque la botánica y la agronomía clasificaban anteriormente las variedades de yuca como 'dulces' y 'amargas', según la cantidad de HCN que pudieran generar, esta clasificación ya no se usa, porque no hay estabilidad en el 'contenido' de ácido ni de su precursor, linamarina, en una u otra categoría. Las variedades 'dulces' producen generalmente 20 mg de ácido por kg de raíces frescas (una cantidad muy pequeña), mientras que las 'amargas' llegan a producir más de 1000 mg/kg. No se conocen aún variedades sin cianógenos. Las condiciones ambientales pueden afectar el 'contenido' de cianógenos de la yuca, haciendo que un cultivar 'dulce' proveniente de determinada zona se torne 'amargo' en una zona distinta.

La corteza de la raíz contiene cianógenos en mayor concentración. Se encuentra también, aunque en menor cantidad, en las hojas y en otros órganos de la planta. Los métodos convencionales de preparación culinaria de la yuca son efectivos para reducir el contenido de los cianógenos hasta niveles inocuos. Ahora bien, cuando se consumen raíces de una variedad 'amarga' sin cocinarlas adecuadamente y cuando la dieta carece de proteínas y de yodo (condiciones que se dan en las hambrunas y en las guerras), se presentaría una intoxicación por cianuro, que afectaría seriamente la salud de esa población.

El trabajo de procesar las raíces de una variedad 'amarga' es muy arduo. No obstante, hay agricultores que prefieren plantar estas variedades por dos razones: los cianógenos ayudan, al parecer, a proteger las plantas contra las plagas (actuales y potenciales), y los productos alimenticios elaborados con el almidón de esas variedades tienen mejor textura.

Cuando se procesan variedades de yuca de alto contenido de cianógenos, el producto final (el almidón) no contiene residuo alguno de este ácido. La razón es que el HCN se disuelve totalmente en el volumen grande de agua que requiere el proceso y se separa así del almidón.

Variedades

Cada variedad de yuca tiene un comportamiento diferente y su tiempo óptimo de cosecha no es igual al de otras variedades. Aunque estas características dependen de dos

condiciones inherentes al sitio en que se cultiva, clima y altitud, también dependen de los caracteres genéticos de la variedad y del manejo que ésta reciba (Alarcón, 1994a).

Cuando pasa el tiempo óptimo de cosecha de la yuca, los contenidos de agua y de fibra aumentan y el porcentaje de almidón disminuye notablemente. Por consiguiente, en el proceso de obtención de este almidón se produce gran cantidad de "mancha", un subproducto que contiene un almidón de mala calidad.

- Se han desarrollado variedades de yuca resistentes a plagas y enfermedades, que se adaptan a diferentes condiciones de clima y suelo. Estas variedades dan alto rendimiento y tienen alto contenido de almidón; muchas de ellas requieren, además, poco tiempo para llegar a la cosecha (Domínguez, 1983).
- Cuando no se emplean prácticas de cultivo adecuadas, el rendimiento de la variedad descende, las enfermedades que la atacan aumentan, y el suelo pierde sus minerales y nutrientes (Domínguez, 1983).

Producción y rendimiento

En el mundo

El cultivo de la yuca ha sido una actividad tradicional de gran importancia para la población rural de muchos países del mundo. En los países que están en vías de desarrollo, especialmente, la yuca es uno de los componentes principales de la dieta alimentaria de sus habitantes, quienes alimentan también con ella a sus animales y (cuando tienen excedentes) la venden en el mercado.

La producción mundial de yuca en 1999 llegó a más de 169 millones de toneladas métricas anuales, de las cuales 54.4% (92.5 millones) se cosechó en África, 27.6% (47 millones) en Asia y el 18.0% restante (29.3 millones) en América Latina y el Caribe.

Los principales países productores de yuca son Nigeria, Brasil, Zaire, Tailandia e Indonesia; su producción de raíces frescas (FAO, 1999) aparece en la Figura 26-3. El mayor consumo anual por persona y por región está en África (más de 90 kg). Zaire es el país que más consume yuca: 391 kg por persona al año, que

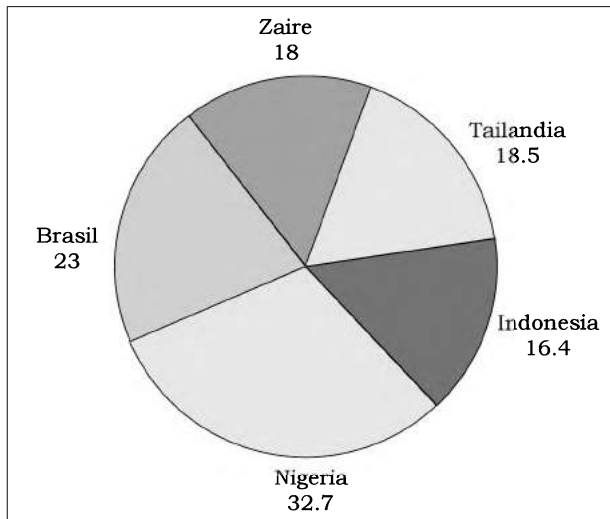


Figura 26-3. Producción de raíces de yuca (millones de toneladas) en los principales países productores del mundo (FAO, 1999).

equivalen a 1123 calorías por día. El consumo mundial es de unos 18 kg por persona al año.

De la producción mundial (Figura 26-4), cerca del 85% se usa en el lugar en que se produce (*in situ*); de este porcentaje, 60% se destina a la alimentación humana, cerca de 33% a la alimentación animal, y el 7% restante a la producción de almidón y a las biotransformaciones del producto (Jones, 1983).

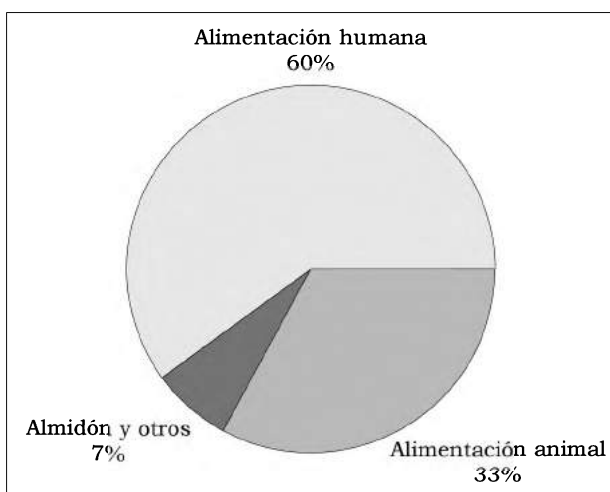


Figura 26-4. Distribución de la producción de yuca destinada al uso local (85%) en el mundo. FUENTE: FAO, 1999.

El 15% restante (unos 30 millones de toneladas) se exporta cada año a Europa y a Japón como trocitos o gránulos (*pellets*) y como almidón; de esta exportación, 75% corresponde a Tailandia, y el resto a Indonesia y China. En la Unión Europea se incorporan anualmente a las raciones de los animales 5 millones de toneladas de gránulos.

En Colombia

La producción de yuca en Colombia ascendió, en 1999, a 2 millones de toneladas métricas, que corresponden al puesto 16 en el mundo (FAO, 1999); el rendimiento medio es de 9.93 t/ha. La principal zona productora de yuca en Colombia es la Costa Atlántica; una cantidad considerable de este producto sale también de los Llanos Orientales. El departamento del Cauca figura con 4.6% de la producción total del país.

- Por la estacionalidad de las lluvias, gran parte de la producción anual se concentra en ciertas épocas del año. Esta situación ocasiona a la agroindustria de la yuca escasez de materia prima en unos meses del año y abundancia en otros, pérdidas por daño de las raíces frescas que se almacenan durante largo tiempo en épocas de oferta excesiva, y oscilaciones en los precios de la materia prima y del almidón.

En el departamento del Cauca

El Cauca (IGAC, 1993) es el principal productor de almidón agro de yuca en Colombia, ya que procesa casi 80% del total del país. En 1994 había en este departamento unas 6450 ha cultivadas con yuca, que producían unas 53,500 t de raíces frescas. Esta producción representa 3.2% del total nacional.

El rendimiento promedio en el departamento, según los datos del MADR, es de 8.3 t/ha. La producción local de yuca no es suficiente para satisfacer la demanda actual de las "rallanderías". Cuando escasea la yuca en el departamento del Cauca, hay que traerla de otras regiones del país.

Se calcula que, para ocupar plenamente la capacidad instalada de las "rallanderías", sería necesario sembrar un área de 19,700 ha.

La Sección de Utilización de Yuca (del antiguo Programa de Yuca del CIAT) ensayó, con buenos resultados, algunas variedades que habían sido mejoradas en el CIAT para las condiciones y requisitos del departamento del Cauca, es decir, para un tiempo determinado entre plantación y cosecha, un rendimiento alto y muy buena calidad del almidón en panificación. De las mejores variedades ensayadas aún se recomiendan a los productores las siguientes:

- La variedad Catumare (CM 523-7), que da buena producción de almidón y se destina para el consumo en fresco y para la industria de congelados.
- La variedad MBRA 12, que tiene alto rendimiento, buen porcentaje de extracción de almidón y produce almidón de buena calidad en panificación; además, no la hurtan del campo para consumirla porque es yuca amarga.

Productores y procesadores. Se estima que 97% de los productores caucanos siembran la yuca según métodos tradicionales; sólo el 3% restante tiene cultivos tecnificados, es decir, plantan estacas sanas de variedades mejoradas y aplican un 'paquete' de prácticas agronómicas eficaces como el que recomienda el Programa Nacional de Investigación Agrícola.

En una encuesta realizada en 1995, se hallaron 210 "rallanderías" en el departamento del Cauca. El 51% de los ralladeros (107 del total) son también productores de yuca; el área cultivada por ellos representa sólo 8% del área plantada con yuca en ese departamento.

Producción y beneficio. De la producción total del departamento, 3.6% se destina al consumo directo o a la alimentación animal dentro de la finca. Del 96.4% restante, que es oferta comerciable, 90% se emplea en la agroindustria del almidón fermentado (agrio) y 10% se mercadea para consumo humano dentro del departamento (Chacón y Mosquera, 1992).

La producción de almidón agrio de toda la agroindustria regional se calcula en 10,700 t/año, que representan entre 70% y 80% del total del país (Gottret, 1996). Se producen además unas 135 t/año de almidón nativo para la industria.

- Las actividades relacionadas con el cultivo y la transformación de la yuca en el norte del departamento del Cauca ocupan un lugar predominante en la economía regional. Representan la fuente principal de ingreso para casi 4000 familias campesinas que manejan las 210 "rallanderías" de almidón agrio antes mencionadas.
- Los agricultores de las zonas aledañas a las "rallanderías" suministran a éstas la yuca. En épocas de escasez de materia prima, los procesadores se organizan y hacen llegar camiones cargados con yuca desde Ecuador, del Urabá antioqueño y de Armenia. Estas raíces, almacenadas en los vehículos durante los 2 o más días que tarda su transporte, se deterioran y pierden calidad.

Procesamiento de la Yuca

Después de la celulosa, el almidón es el carbohidrato de mayor abundancia en la naturaleza. El almidón es una de las principales reservas de energía de las plantas; se encuentra en fuentes tan diversas como los cereales (maíz, trigo, cebada, arroz), la papa, la yuca (Figura 26-5) y muchos otros cultivos.

El almidón es el carbohidrato más importante en la actividad humana por su función alimenticia y por sus múltiples aplicaciones en la industria y el comercio.

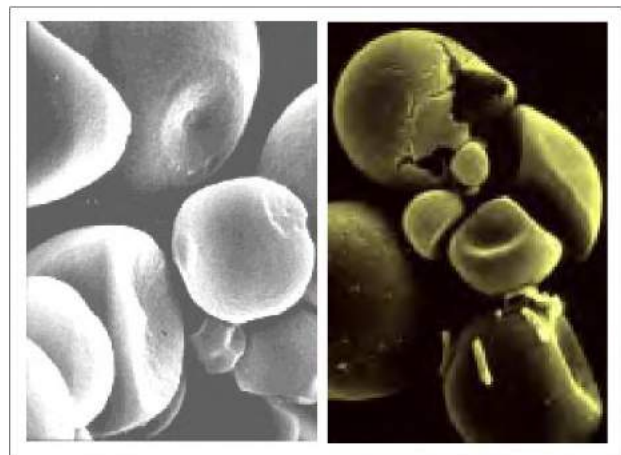


Figura 26-5. Gránulos de almidón natural (o nativo) de yuca vistos con el microscopio electrónico. En los del almidón fermentado o agrio (derecha) se ve la acción erosiva de la bacteria amilolítica.

A diferencia de los almidones de cereales, que requieren procesos industriales muy tecnificados, los almidones de raíces y tubérculos (papa, batata, achira y yuca) son más fáciles de obtener en el medio rural: su obtención sólo requiere molienda, tamizado, separación con agua, sedimentación y secado.

El proceso general de extracción de almidón de yuca se ilustra en el diagrama de la Figura 26-6. Las operaciones de lavado, rallado y tamizado se han mecanizado, aunque en algunas regiones todavía se hacen a mano.

Las plantas procesadoras (“rallanderías”) elaboran de 1 a 10 toneladas de yuca por día. La tecnología empleada en ellas, que se describe en el resto de este capítulo, no varía mucho entre un sitio y otro y conserva un estilo tradicional. Algunas “rallanderías” de la región andina de Colombia se construyen siguiendo la topografía del terreno (Figura 26-7) para aprovechar la energía derivada del gradiente de gravedad que allí se establece.

Lavado de las raíces

El propósito de esta operación es eliminar la tierra y las impurezas adheridas a la cascarilla de las raíces de yuca, junto con esa misma cascarilla (corteza externa o periderma).

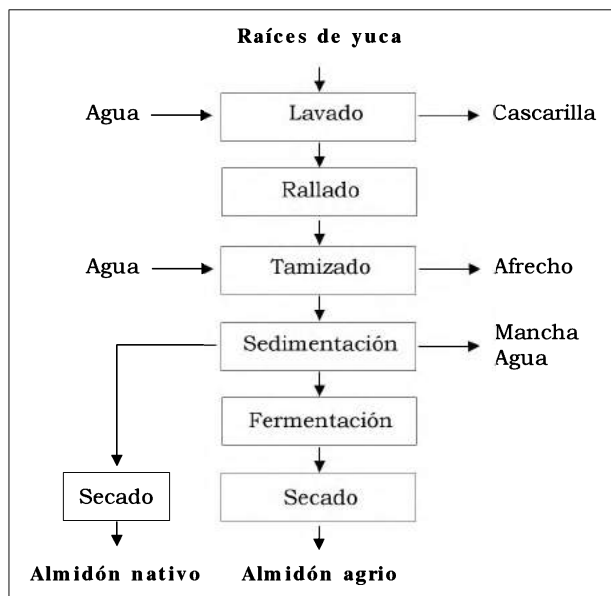


Figura 26-6. Diagrama del proceso general de extracción de almidón de yuca nativo y agrio.

Métodos de lavado

Lavado/pelado manual. Se ejecuta con las manos, aunque en algunas zonas de los departamentos del Cauca (23 “rallanderías”) y de Caldas (8) se hace también con los pies (Figura 26-8). La cascarilla se desprende por la fricción de unas raíces con otras durante el lavado. Esta operación emplea gran número de personas de la familia campesina y es, por ello, una fuente de ingreso para la comunidad.

Pelado. En las “rallanderías”, las raíces se pelan manualmente (con cuchillos), es decir, se despojan de la corteza interior (parénquima cortical) estando ya lavadas y sin la cascarilla.

Lavado/pelado mecánico. El lavado/pelado mecánico se hace en un tambor cilíndrico, en el que las raíces de yuca reciben chorros de agua mientras se friccionan unas con otras y contra la lámina del aparato.

La lámina tiene agujeros rectangulares que permiten la salida de desechos del interior del tambor. El flujo de agua ayuda a desprender las impurezas y la cascarilla de las raíces.

Tipos de máquina lavadora

Lavadora/peladora cilíndrica de semieje para carga lateral (Modelo 1). El cilindro está soportado por un semieje acoplado a una caja de rodamientos en una de sus caras. El semieje acciona el cilindro. El conjunto se instala sobre una pileta que recibe el agua y las impurezas.

El cilindro (Figura 26-9) está formado por una lámina de hierro galvanizado que tiene agujeros ovalados, distanciados entre sí. Por estos orificios salen el agua y las impurezas (suelo y restos de cascarillas).

Esta lavadora se carga y descarga a través de una abertura semicircular situada en el centro de uno de los lados (o bases) del cilindro. En ese lado hay, además, una tolva (o un aditamento similar), que ayuda a hacer las labores de carga y descarga; éstas se ejecutan manualmente en forma muy práctica y fácil y no requieren que se detenga la máquina. Por consiguiente, la operación de lavado/pelado con esta máquina es rápida y prácticamente continua.

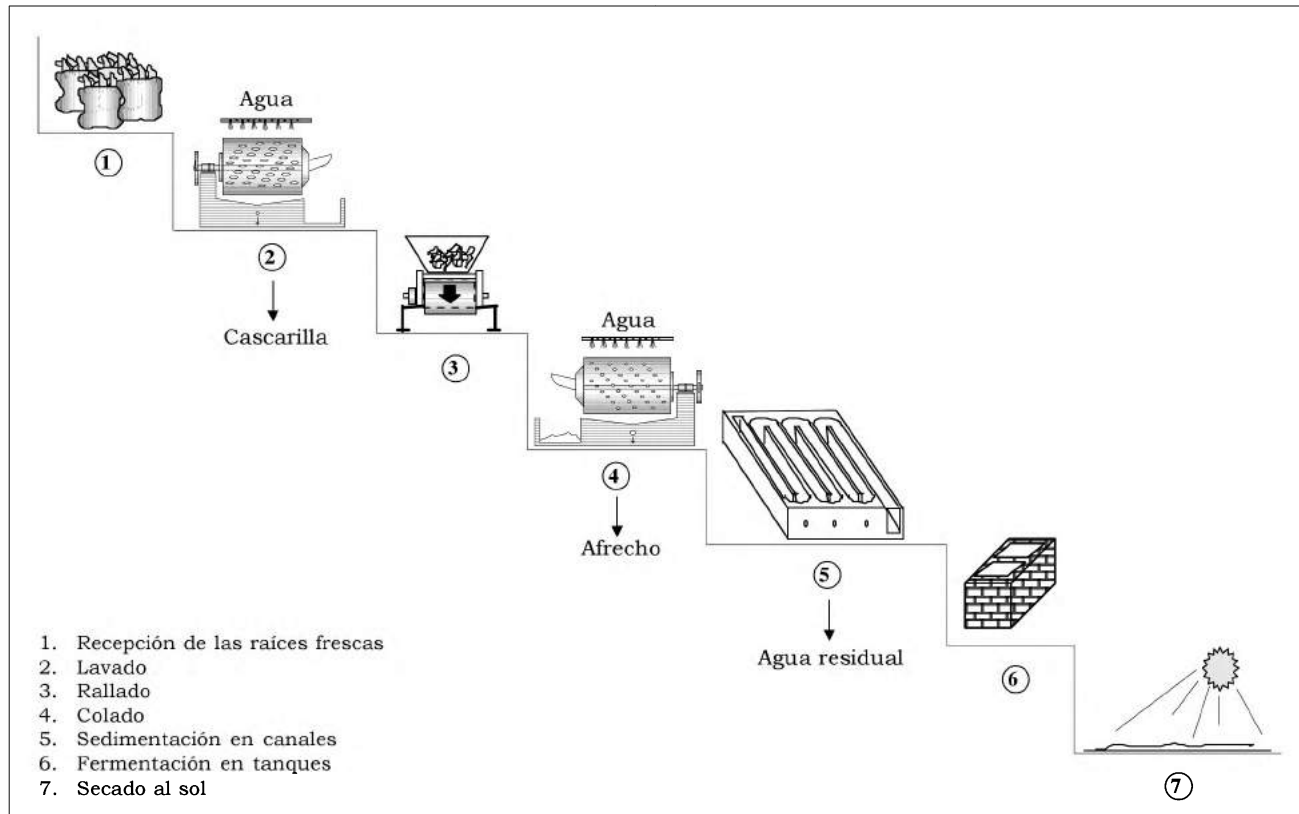


Figura 26-7. Distribución esquemática de las operaciones de producción de almidón de yuca en una "rallandería" diseñada aprovechando el gradiente de gravedad que ofrece la topografía del terreno.

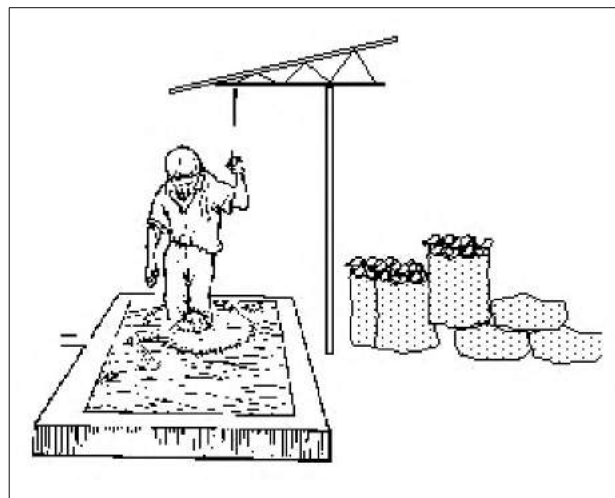


Figura 26-8. En algunas "rallanderías", las raíces de yuca se "pelan" con los pies en el lavado: la fricción las despoja de la cascarilla o corteza externa.

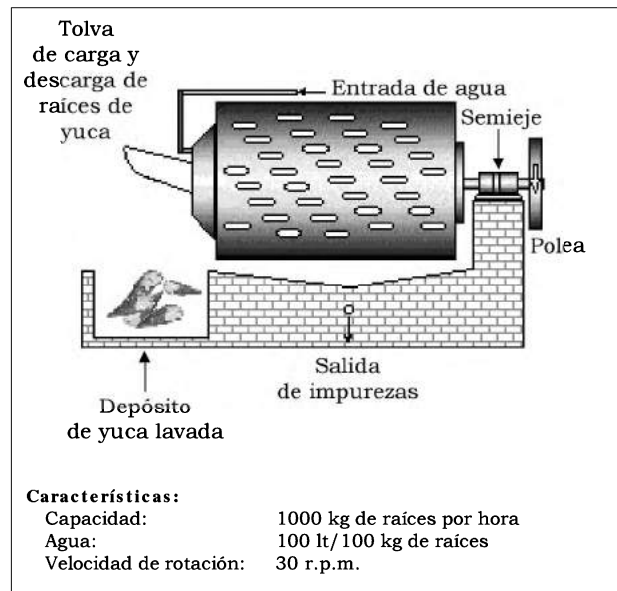


Figura 26-9. Lavadora/peladora de raíces de yuca, de cuerpo cilíndrico (tambor) y semieje, para carga lateral.

Por la misma abertura lateral entra un tubo perforado para el suministro del agua. Las raíces salen de la máquina lavadas y peladas y caen en un depósito bajo la tolva.

Lavadora/peladora cilíndrica de eje central para carga frontal (Modelo 2). Es un cilindro con un eje central cuyos extremos están soportados por rodamientos o chumaceras (Figura 26-10A).

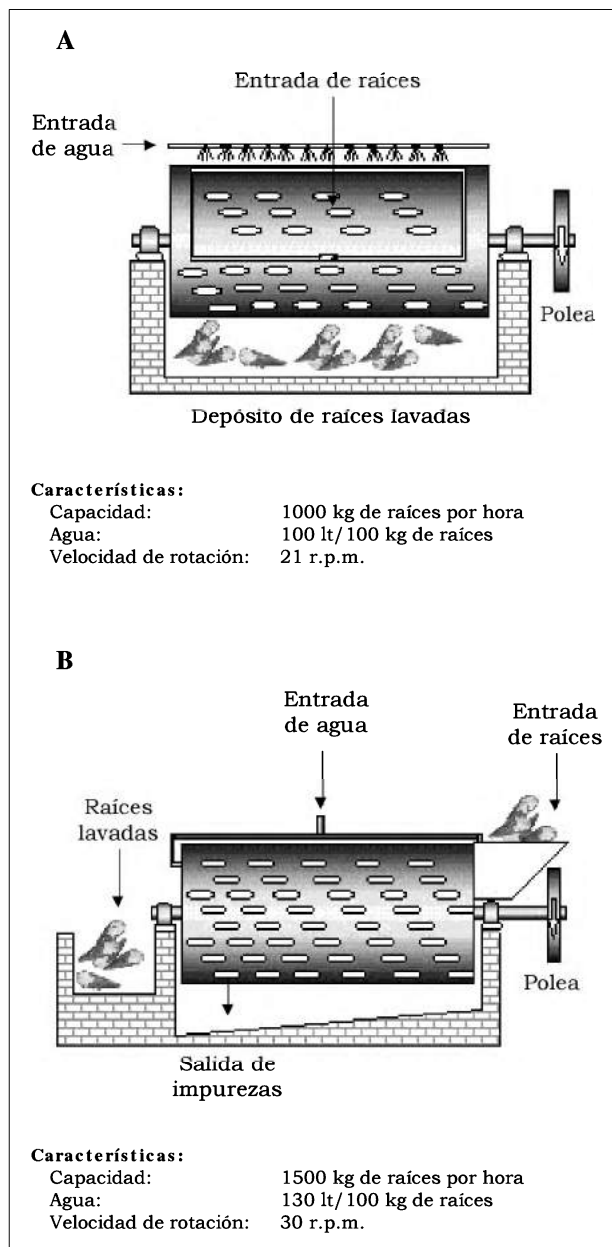


Figura 26-10. Lavadora/peladora de raíces de yuca, de cuerpo cilíndrico (tambor) y eje central. (A) Para carga frontal. (B) De acción continua.

Las paredes del cilindro son de lámina galvanizada y tienen agujeros ovalados o rectangulares. La compuerta de carga y descarga va a lo largo del cilindro. Por encima del cilindro, y paralelo a éste, un tubo con perforaciones deja caer agua a presión sobre el cilindro.

Estas lavadoras/peladoras son difíciles de cargar y descargar, su arranque es también difícil y las tandas de lavado y pelado se demoran mucho.

Lavadora/peladora cilíndrica semicontinua (Modelo 3). Es un cilindro con un eje central que gira sobre rodamientos o chumaceras.

Las paredes del cilindro son de lámina galvanizada y tienen agujeros ovalados o rectangulares para facilitar la salida del agua y las impurezas. Al cilindro se acopla una tolva de recepción en uno de los extremos; en el otro, hay una compuerta de salida.

El agua es suministrada por un tubo bifurcado cuyos extremos pasan, sin impedir la libre rotación del cilindro, por orificios situados uno en el lado derecho y otro en el lado izquierdo del mismo cilindro (Figura 26-10B). En algunas máquinas de este modelo, el agua se suministra a través del eje central que estará, por tanto, perforado.

Capacidad de la lavadora/peladora

La capacidad de una lavadora/peladora depende de su tipo, que puede ser tradicional (modelos 1 y 2) o semicontinuo (Modelo 3).

- Las tradicionales tienen una capacidad de 1000 kg/hora y su consumo de agua es de menos de 100 lt por cada 100 kg de raíces. El tiempo empleado en cada tanda es, aproximadamente, de 10 minutos.
- Las semicontinuas (Modelo 3), de reciente desarrollo, tienen mayor capacidad (1500 kg/hora) y un consumo de agua razonable (130 lt por 100 kg de raíces). Su manejo es práctico y fácil. El tiempo por tanda es de 5 minutos. Estas lavadoras/peladoras pueden acoplarse a la operación de rallado para dar mayor continuidad al proceso de beneficio (CIAT, 1995b).

Pérdidas en el lavado/pelado

Las pérdidas ocurridas en la operación de lavado y pelado de las raíces de yuca dependen de tres factores: la variedad de yuca, el estado en que se encuentren las raíces y las características de la máquina lavadora.

- Las pérdidas de materia prima y, por ende, de almidón de la lavadora se deben, principalmente, a la duración del lavado y al diseño de los agujeros del cilindro; si éstos tienen un borde interno muy grande, pueden romper todo el tejido de la raíz, desintegrándola en trozos muy pequeños. Normalmente, estas pérdidas por lavado están entre el 2% y el 3% del peso de las raíces frescas.
- Las lavadoras de eje central para carga y descarga frontal tienen también pérdidas de agua, porque una parte del agua suministrada resbala por el exterior del cilindro.

Rallado de las raíces

Es la acción de liberar el almidón de la raíz empleando un método cualquiera. La eficiencia de esa acción recibe el nombre de efecto rallador (ER), que se ha calculado (Alarcón, 1989) mediante la siguiente ecuación:

$$ER = \left\{ 1 - \frac{A_A \times F_R}{A_R \times F_A} \right\} \times 100$$

donde:

A_A = almidón recuperado en el afrecho (%)

F_R = fibra cruda en las raíces frescas (%)

A_R = almidón en las raíces frescas (%)

F_A = fibra cruda en el afrecho (%)

En el rallado se liberan los gránulos de almidón contenidos en las células de la raíz (Figura 26-5). La eficiencia de esta operación determina, en gran parte, el rendimiento total de almidón en el proceso de extracción.

Rallador o rallo

Es un cilindro de madera que va montado en un eje de hierro. El cilindro está recubierto por

fuera por una lámina de hierro galvanizado que se perfora de manera manual con un clavo (o con punzón) en toda su área. Se hacen, generalmente, una o dos perforaciones por cm^2 .

La velocidad de rotación del cilindro varía de 1200 a 1300 r.p.m. El rendimiento promedio del equipo es de 1500 kg de raíces por hora. Cuando se ralla con agua, consume 90 lt por cada 100 kg de raíces.

Operación del rallo

La superficie áspera y cortante del tambor, constituida por los bordes filudos de múltiples agujeros, establece una línea de corte (un rallo) con la cara interior de una tabla colocada frente al tambor. Ese rallo produce una masa de ralladura de yuca, que será fina o gruesa según el espacio (o "luz") dejado entre el tambor y el borde de madera (Figura 26-11).

La operación de rallado suele hacerse en seco. Sólo en casos especiales se practica con agua; por ejemplo, cuando la maquinaria puede instalarse aprovechando la pendiente del terreno, es decir, el gradiente de gravedad; el agua usada puede así fluir fácilmente hacia la siguiente operación o hacia el depósito de aguas residuales (donde es purificada).

El porcentaje de extracción de almidón depende del rallado. Si éste no deshace bien el tejido de la raíz para separar los gránulos de almidón de las fibras, el rendimiento del proceso de extracción es bajo y se pierde mucho almidón en el afrecho desechado.

El rallado no puede ser demasiado fino porque los gránulos muy pequeños de almidón sufrirían daño físico y, más tarde, deterioro enzimático. En estas condiciones, la sedimentación sería más lenta (el gránulo fino pierde densidad) y se formaría mayor cantidad de mancha (CIAT, 1995a; 1995b).

En el Apéndice 1 (Foto 26A-2) se presenta un rallador tradicional usado en las "rallanderías" del departamento del Cauca. El rallado que se hace actualmente en esa región tiene un efecto rallador cercano al 80%, es decir, es muy eficiente.

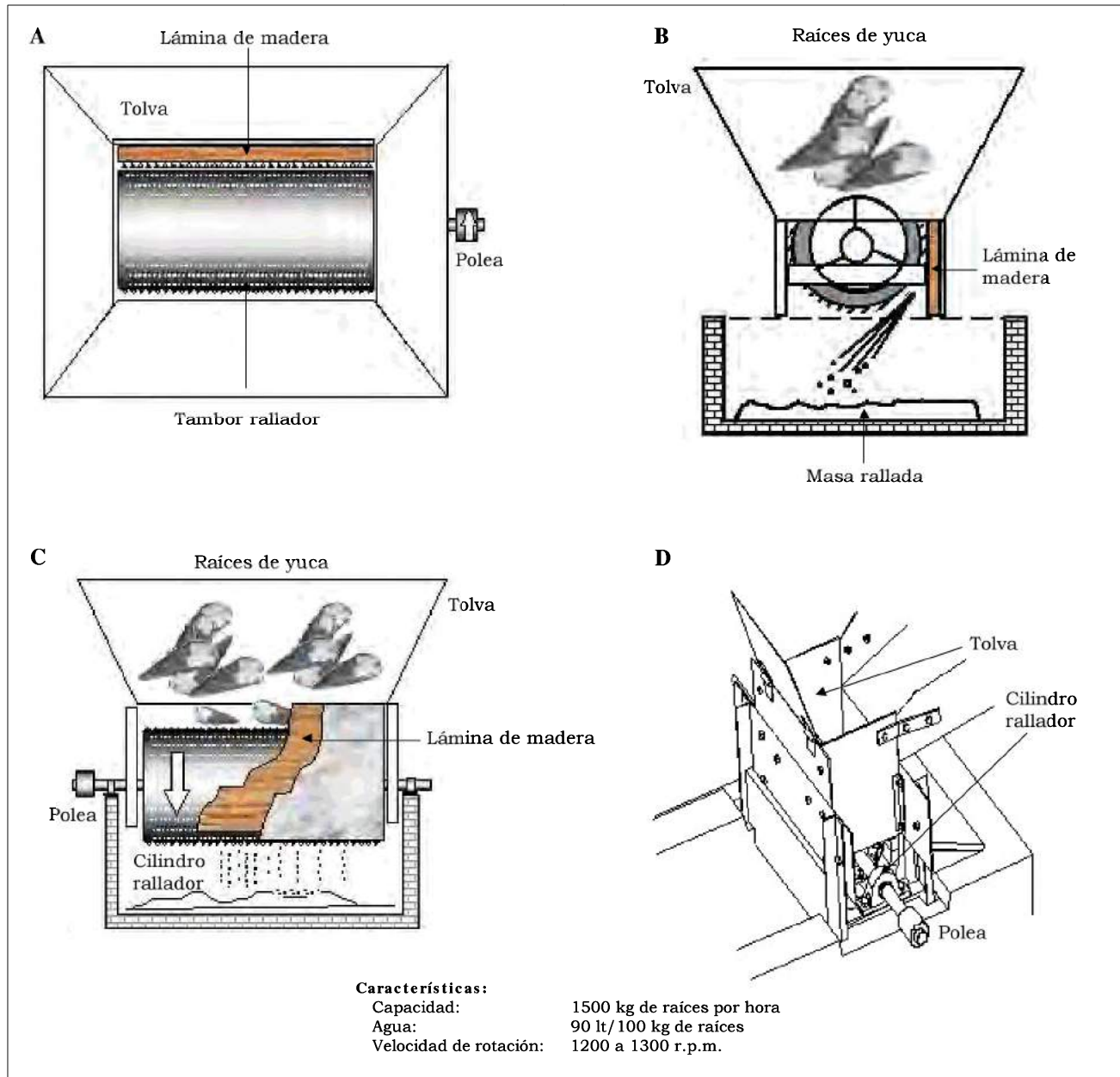


Figura 26-11. Rallador tradicional de raíces de yuca en el que la superficie externa del cilindro es una lámina perforada que, al girar, ralla la yuca contra la lámina plana de madera. (A) Vista superior. (B) Vista lateral. (C) Vista frontal. (D) Dibujo técnico.

Colado o tamizado

Esta operación puede hacerse manualmente, con coladoras mecánicas continuas o con coladoras mecánicas por tandas.

Método manual

Hay 23 pequeñas “rallanderías” en Cauca, en el norte del Valle y en Caldas, que hacen

manualmente la operación de colar o tamizar la yuca rallada.

El colado manual se hace a través de una tela que se fija a un marco de madera; el conjunto se instala sobre un depósito o tanque donde se sedimentará la lechada de yuca rallada que pase por la tela (Figura 26-12).

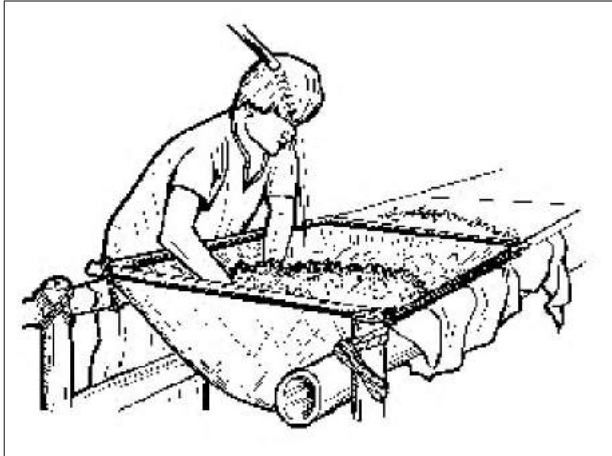


Figura 26-12. Colado manual de la masa de yuca rallada, tal como se practica en el departamento del Cauca.

El rendimiento obtenido manualmente es igual al que se logra con las coladoras mecánicas utilizadas en las “rallanderías” del departamento del Cauca. En realidad, este rendimiento depende de la variedad de yuca, del tipo de rallo empleado, del número de personas que intervienen en la operación y de la destreza de éstas (CIAT, 1995b).

Método mecánico continuo

En el departamento de Caldas se emplean unas coladoras continuas de madera, con

tornillo sinfín, soportadas en su parte inferior por un lienzo de la misma longitud del sinfín (ver Apéndice 1, Foto 26A-3). La coladora se coloca debajo del rallador, para facilitar el flujo de la masa rallada.

El sinfín, que tiene una longitud de 3.5 a 5 m, hace una buena extracción del almidón y facilita la operación de expulsión y compresión de las fibras (el afrecho). Acelera, por tanto, el secado posterior de este subproducto.

La capacidad de una coladora de este tipo es de 200 a 250 kg de yuca por hora. Se usan actualmente en la zona de Riosucio, en Caldas.

Método mecánico discontinuo

Esta coladora mecánica consta de un cilindro asociado a un semieje, el cual gira apoyado en una caja de rodamientos; su velocidad de rotación es de 20 a 22 r.p.m. Se carga y descarga lateralmente mediante un aditamento (Figura 26-13).

Dentro del cilindro hay espas que mezclan la masa rallada de yuca con agua. La lámina interior del cilindro está cubierta por una malla de tela o nylon, cuya trama es de 80 mesh, en la que se tamiza la mezcla de masa rallada y agua. Esta malla permite el paso de la lechada de almidón y retiene la fibra o afrecho.

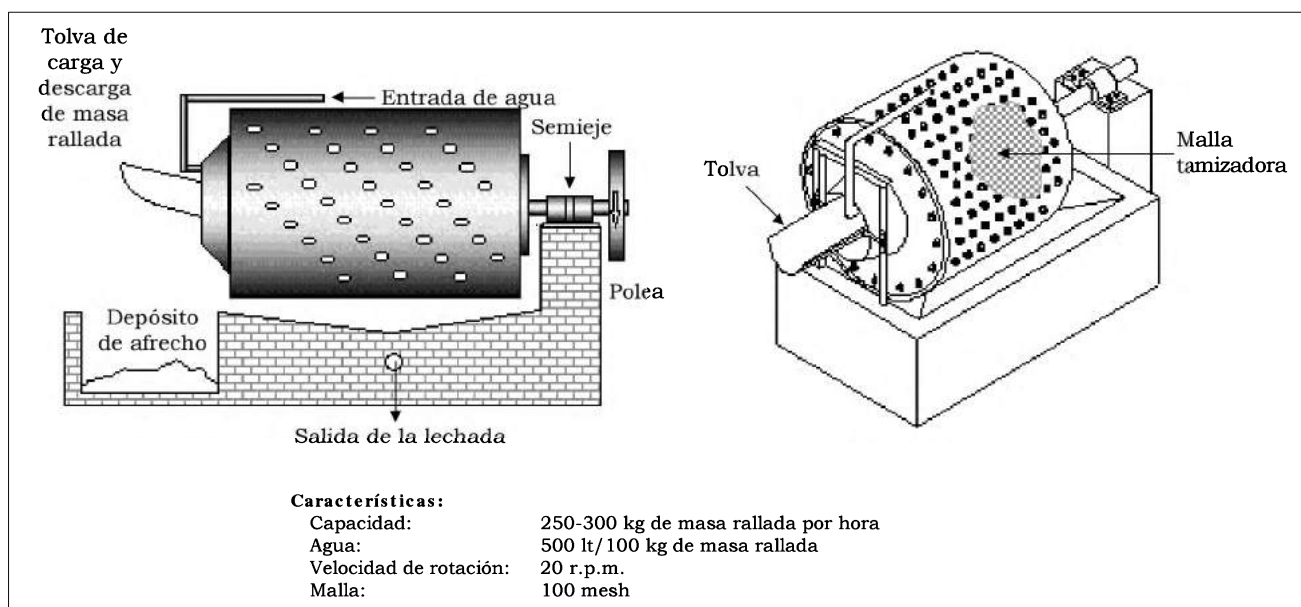


Figura 26-13. Coladora mecánica discontinua de cilindro y semieje para colar o tamizar la masa de yuca rallada.

La capacidad normal de esta coladora mecánica es de 250 a 300 kg de masa rallada por hora.

La calidad del almidón, respecto a su contenido de fibra e impurezas, depende de la malla que se utilice. Se puede obtener almidón de mejor calidad empleando mallas de 120 mesh o más finas.

Otro modelo de este tipo está soportado en cuatro rodamientos (o "rodillos"); la transmisión (polea y eje) mueve dos rodamientos, los cuales transmiten el movimiento al cilindro, que se apoya también en los otros dos rodamientos (Figura 26-14). El cilindro gira en sentido contrario al giro de los rodamientos. Por lo demás, este modelo es igual o muy similar al anterior.

Características del colado

El colado o tamizado es la operación más lenta del proceso de extracción del almidón; es, por tanto, la principal limitante del proceso.

Afrecho (subproducto). El subproducto de esta operación de colado es el afrecho. Una vez secado al sol, éste se usa como complemento de concentrados para animales o se ofrece directamente en la alimentación animal (Buitrago, 1990). El análisis químico indica que el afrecho seco tiene un contenido de materia seca de 80% a 85%; de ésta corresponden a

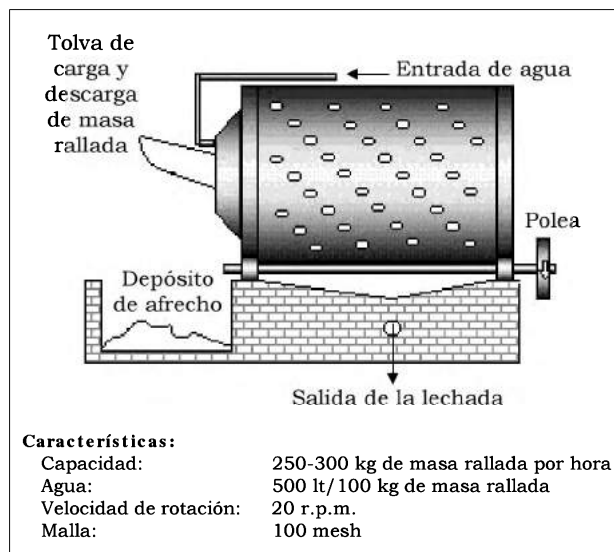


Figura 26-14. Coladora mecánica de cilindro soportada sobre cuatro rodamientos.

almidón 60% a 70% y a fibra 12% a 14%. Estos valores se relacionan, por ejemplo, con los obtenidos en el balance de masas de la Figura 26-21 para 1000 kg de raíces frescas de yuca; así, en la casilla 'Afrecho' tenemos un contenido de almidón de 56.0 kg, que corresponde al porcentaje antes indicado:

$$56.0 \text{ kg} / 90.1 \text{ kg} \times 100 = 62.2\%$$

La producción de afrecho en el departamento del Cauca se calcula en unas 4500 t/año. Esta información fue obtenida por Gottret (1996), y por la encuesta citada.

Segundo colado. En muchas "rallanderías" se hace pasar la lechada de yuca por pequeños tamices después del colado. Los movimientos de vaivén de estos tamices retienen las fibras finas que pudieron filtrarse en la coladora.

Sedimentación del almidón

Cuando la lechada de yuca rallada sale de la coladora, contiene almidón, fibra fina y material proteico en suspensión. Esta lechada es conducida a tanques o a canales, donde se lleva a cabo la sedimentación del almidón. De la lechada que recorre los canales o que se estaciona en los tanques, se separa el componente más denso, o sea, el almidón, cuyos gránulos, de diverso tamaño, se sedimentan en el fondo.

Este proceso puede durar 3 horas en los canales y 6 a 8 horas en los tanques de sedimentación. Al final de esta etapa queda una capa de almidón compactado en el fondo (del canal o del tanque). El agua sobrenadante se desecha (ver más adelante).

Tanques de sedimentación

En el departamento del Cauca hay 106 "rallanderías" que utilizan tanques de sedimentación, los cuales se construyen con ladrillo y se recubren con baldosín. El volumen de agua que pasa por ellos, por tonelada de raíces frescas, es de 4.8 m³.

Esta cifra aparece de nuevo (Figura 26-18) en los 5 m³ (500 lt/100 kg de yuca) empleados para colar y sedimentar 1000 kg iniciales de raíces frescas.

Los tanques se convierten en una limitante grande del proceso por el trabajo que requieren. Las “rallanderías”, en efecto, no poseen el número suficiente de tanques para atender su propia capacidad de producción de yuca rallada. Además, hay que esperar hasta 8 horas para que el almidón quede sedimentado en un tanque.

Los tanques tienen otros dos inconvenientes: permiten que se mezcle el almidón con la mancha y que se pierda hasta 2% del almidón sedimentado cuando éste se “desmancha”. La labor de retirar la mancha (desmanchar) consiste en limpiar la parte superior de la capa de almidón sedimentado, empleando agua y una herramienta manual de limpieza, que tiene un borde recubierto con caucho (Apéndice 1, Foto 26A-4).

Canales de sedimentación

Hay en el departamento del Cauca 20 “rallanderías” con el sistema de canales. Los

canales de sedimentación se recubren con baldosín o con materiales similares que permitan un flujo laminar de la lechada. Su longitud total varía de 100 a 200 m y no deben tener pendiente o inclinación durante su recorrido. Al sedimentarse gradualmente, el almidón crea una ligera pendiente, que facilita el flujo de la lechada restante.

Se ha recomendado un sistema que consta de siete canales de 25 a 30 m de largo cada uno (Figura 26-15). Estos sistemas pueden diseñarse de manera que se adapten a la topografía del terreno (Apéndice 1).

A la entrada de los canales se debe hallar una pequeña caja desarenadora, donde la arena y otros sólidos de la lechada puedan sedimentarse.

El baldosín permite que la lechada se deslice de manera uniforme e ininterrumpida, evitando así la sedimentación de “mancha”, de arena (cuando no hay desarenador) y de otras



Figura 26-15. Sistema de siete canales para la sedimentación del almidón a partir de la lechada de yuca.

impurezas del almidón (fibra). La separación entre baldosines, cuando es relativamente grande, propicia la sedimentación de esos contaminantes del almidón.

Al terminar la sedimentación, se obtienen tres capas en los canales y dos tipos diferentes de almidón:

- La capa inferior es el **almidón**.
- La intermedia, denominada **mancha**, es un almidón mezclado con material proteico; su espesor es variable.
- La capa superior es el agua sobrenadante o **residual**.

Agua residual

Esta agua se elimina de la siguiente manera:

- En los **tanques**, quitando el tapón de un tubo de desagüe situado cerca de la base del tanque, un poco arriba del nivel en el que suele terminar la sedimentación de la capa de almidón (el flujo de salida del agua arrastra un poco de almidón). Si el tapón es interior, se hala con una cuerda desde el borde del tanque.
- En los **canales**, retirando una a una (de arriba hacia abajo) las cuatro o cinco compuertas delgadas o esclusas que, al iniciar la sedimentación, se iban colocando (ajustadas una sobre otra y de abajo hacia arriba) en la boca de salida del último canal, a medida que subía el nivel de la lechada. Cada compuerta tiene 60 cm de ancho y de 8 a 10 cm de alto (el canal tiene 40 cm de altura).

Una sola compuerta grande (60 x 40 cm) daría lugar, al ser retirada al final de la sedimentación, a la formación de un flujo turbulento de salida, que arrastraría gran parte de la mancha y un buen porcentaje de almidón. En un sistema de siete canales, el volumen total del agua residual es de unos 50,000 lt.

Los canales tienen las siguientes ventajas:

- La sedimentación hecha en los canales no detiene el proceso de beneficio. En otras palabras, cuando la lechada termina su recorrido por el sistema de canales, la

sedimentación se considera cumplida y se pasa a la siguiente etapa.

- Un grano de almidón debe recorrer 0.80 m en un tanque de sedimentación y sólo 0.10 m en los canales antes de sedimentarse. Esta diferencia explica, en gran parte, la ventaja antes mencionada, o sea, la rapidez de la sedimentación.

Cuando la sedimentación se hace en tanques, se pierde almidón durante la operación de remover la mancha (el "desmanchado"). En los canales, casi toda la mancha sale suspendida en el agua residual y muy poca alcanza a sedimentar sobre la capa de almidón. Al desmanchar esta capa con la herramienta antes descrita, no se pierde el 2% de almidón que suele perderse cuando se desmancha el almidón en los tanques.

Mancha (subproducto)

La mancha es un subproducto del proceso de producción de almidón y se obtiene en esta etapa. Contiene almidón de baja densidad y poca calidad, y su nivel de proteína es alto. La mancha se emplea en la alimentación de porcinos y en la elaboración de adhesivos (Alarcón, 1994b).

Se estima que la producción de mancha en el departamento del Cauca es de 750 t/año, según los datos de Gottret (1996), y de la encuesta antes mencionada.

El agua residual se deja sedimentar de nuevo en un tanque (para separar restos de mancha) y es conducida después a los ríos y quebradas. Esta agua puede ser recirculada para la operación de lavado cuando el agua es una limitante del proceso y conviene conservarla. Se recomienda tratarla antes de desecharla o reciclarla (ver Apéndice 4).

El almidón se compacta en el fondo de los tanques o canales y se lleva luego a dos sitios:

- Al lugar de secado, donde se convierte en almidón natural o nativo, para uso industrial y para alimentación.
- A los tanques de fermentación, donde se convierte, después de 20 a 30 días, en almidón agrio para panificación.

Fermentación del almidón

La fermentación es un proceso natural realizado por bacterias lácticas amilolíticas en condiciones de anaerobiosis (sin oxígeno en el medio). La yuca, un producto agrícola muy perecedero, se aprovecha bien cuando puede conservarse convertida en almidón fermentado. El almidón fermentado o agrio adquiere, además, características especiales de sabor, textura, olor y expansión en el horneado, que son deseables en la panificación. Estas características no pueden lograrse con el almidón nativo o sin fermentar (Figueroa, 1991).

El almidón agrio se emplea en la elaboración de productos horneados como pandebono, pandeyuca, 'besitos', rosquillas y otros de reciente aparición en el mercado. Estos alimentos son muy apreciados por la población de varias regiones del país (Pinto, 1977).

Proceso de fermentación

El almidón sedimentado se coloca en los tanques de fermentación. Se le agrega luego una capa delgada de agua y allí se conserva de 20 a 30 días. Este tiempo varía según las condiciones climáticas de la zona. Los tanques tienen dimensiones variables y, en general, están recubiertos con madera en su interior. Su tamaño depende de la capacidad de la "rallandería" (Figura 26-16).

Los tanques pequeños son más recomendables, por dos razones: son fáciles de llenar y facilitan la operación diaria de secado.

El inóculo necesario para la fermentación puede ser el agua que haya sido usada en el proceso de fermentación durante varios días o un trozo de almidón ya fermentado. Se usa también el afrecho húmedo, que se extiende sobre el almidón en la parte superior del tanque.

Se deja agua sobrenadante en los tanques (de 3 a 4 cm por encima del almidón) para mantener la anaerobiosis. Los tanques llenos se protegen del sol con afrecho húmedo o con sacos de polipropileno húmedos, para evitar la evaporación del agua (ver Apéndice 1, Foto 26A-5). En zonas de clima ardiente, es recomendable enterrar los tanques de fermentación.



Figura 26-16. Tanque de fermentación del almidón agrio de yuca.

El tiempo de fermentación es variable y depende de la temperatura ambiente.

Un control de la fermentación es el pH, aunque nadie lo practica en las "rallanderías". Al final del proceso, el pH estará entre 3.5 y 4.0.

Secado del almidón

El secado es la operación de deshidratación del almidón húmedo, mediante exposición al calor. El almidón nativo se seca empleando medios naturales o artificiales; el almidón fermentado debe secarse solamente con calor solar.

Terminada la fermentación, el almidón se extrae de los tanques o de los canales en bloques compactos y se transporta a los patios donde se seca al sol.

Para facilitar el secado hay que desmenuzar el almidón. Esta operación se hace con las manos o empleando un rallador que lleve en su tambor tornillos o clavos; el implemento sirve así de "quebrador" del almidón antes del secado.

El almidón se seca sobre polietileno de espesor No. 6 de color negro (que capta por ello mayor radiación solar y facilita el secado rápido y uniforme) y se extiende en capas que tengan

una densidad de 1 a 2 kg/m². Para secar, por tanto, una tonelada de almidón se necesitarían, aproximadamente, 1000 m² de superficie de secado. Por consiguiente, el área de secado es otra de las limitantes que afecta sensiblemente a numerosas “rallanderías”, que se encuentran en regiones de topografía muy quebrada.

El secado puede hacerse en bandejas, en “eldas” o bandejas corredizas (Figura 26-17) instaladas en los techos de las rallanderías o sobre el piso de éstas (ver Apéndice 1, Foto 26A-6).

La operación de secado del almidón necesita, aproximadamente, 6 horas de sol en Colombia. El almidón se remueve suavemente 2 ó 3 veces durante este período con rastrillos hechos de materiales blandos para que no dañen el plástico. En esta operación, el viento arrastra polvo de almidón, ocasionando pérdidas (0.7% en base seca), muy difíciles de evitar.

Tratamiento final del almidón

El almidón se recoge de los secaderos cuando su contenido de humedad está entre 12% y 14%. Durante el secado, el almidón forma de nuevo terrones más o menos duros que requieren un tratamiento, es decir, molienda y cernido.

Los terrones se muelen con rodillos como los descritos en la etapa de secado. El cernido se hace en mallas, cuya finura depende de las características del almidón que se desea obtener (de 100 a 120 mesh).



Figura 26-17. Sistema de secado del almidón agrio de yuca en algunas “rallanderías” del departamento del Cauca.

El almidón, una vez cernido, se empaqueta en sacos tejidos con fibra de polipropileno.

Rendimiento

La Figura 26-18 resume, en un diagrama general de flujo, el proceso de obtención de almidón agrio de yuca tal como se practica en la “rallandería” La Agustina, en el departamento del Cauca. El diagrama contiene un balance del almidón que dan 1000 kg de yuca fresca de la variedad M Ven 25.

Calidad

El **poder de panificación (PP)** es el principal criterio de calidad del almidón agrio. Se define el PP como la capacidad del almidón para crecer durante el horneado. Ahora bien, la producción artesanal del almidón agrio impide que esta calidad sea uniforme, y esto limita su acceso al mercado.

El PP depende fundamentalmente de la variedad de yuca, de la fermentación y del secado al sol del almidón. La elección de variedades apropiadas y de prácticas adecuadas para estas dos etapas del proceso de producción del almidón agrio (y el control efectivo de ellas) mejorarían mucho la calidad de este almidón (Dufour et al., 1996).

Se ha estudiado la relación entre la **microflora del inóculo de la fermentación** y la calidad del almidón. Algunos “rallanderos” inoculan un tanque de fermentación con el agua de otro tanque en que se ha obtenido almidón de buena calidad. Se ha comparado también el efecto del tiempo de secado al sol con el secado en horno a diversas temperaturas y bajo luz ultravioleta (Brabet et al., 1996).

La calidad del almidón agrio mejora cuando la **capa de agua** del tanque de fermentación (3 a 5 cm) garantiza la fermentación anaeróbica, la producción de ácido láctico (cepas específicas de la bacteria amilolítica) y el descenso del pH hasta 3.5. Un **secador artificial** que controle la humedad del almidón y permita irradiarlo con luz UV, mejoraría aun más esa calidad porque con él se lograría un secado uniforme en muchas “rallanderías”; no se obtendría, sin embargo, el mismo PP que da la luz solar.

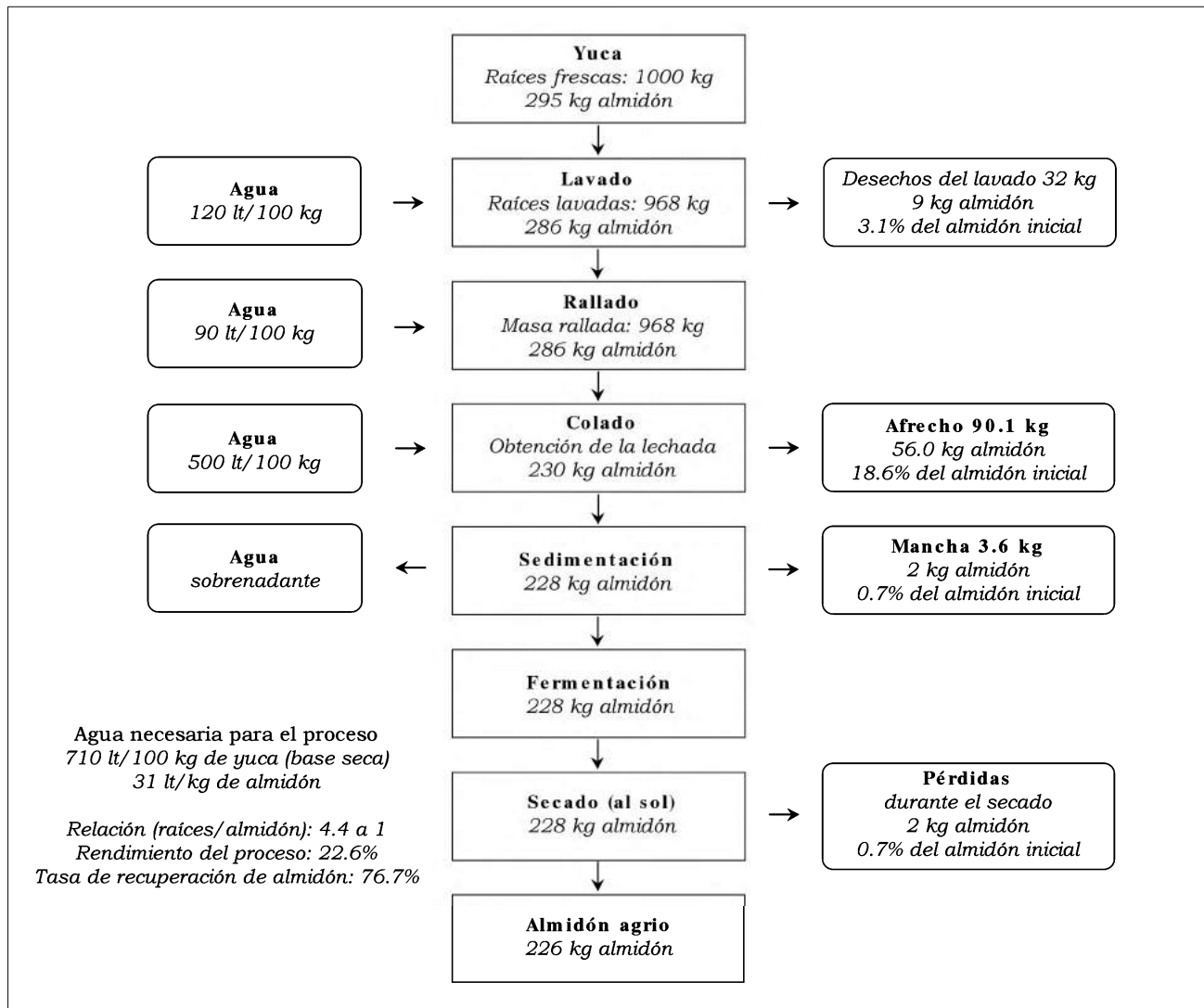


Figura 26-18. Diagrama de flujo del proceso de obtención de almidón agrio de yuca (variedad M Ven 25 con 35% de M.S.) en la “rallandería” La Agustina, en el Cauca, y balance del rendimiento de almidón. El almidón inicial, en este ejemplo, está representado en los 295 kg contenidos en los 1000 kg iniciales de yuca fresca; de ese contenido se recuperan 226 kg de almidón agrio, o sea, 76.7%.

Se estudia aún el influjo de la variedad de la yuca y del tiempo de almacenamiento de las raíces en la calidad del almidón agrio, así como los efectos que éste recibe del clima en general y del agua empleada en el proceso de producción (Brabet et al., 1996).

Comercialización

El almidón agrio y el almidón nativo (dulce) son comercializados principalmente a través de intermediarios; en el Cauca, éstos llevan el producto a Santander de Quilichao, una población al norte del departamento. Allí lo venden a otros intermediarios, que son

transportadores, y éstos lo llevan a las ciudades principales. De los 210 “ralladeros” del departamento del Cauca, 35 venden su almidón directamente a las panaderías, ocho lo venden a la industria de pasabocas, 20 comercializan su producción a través de una cooperativa (COAPRACAUCA); los demás lo entregan a intermediarios.

Los transportadores distribuyen el almidón en las ciudades importantes de la región (Cali, Buga, Cartago, Tuluá), en las capitales de departamentos (Pereira, Ibagué, Medellín, Cartagena, Armenia y Montería), y en Bogotá. Hay también otros mercados terminales.

Recomendaciones generales

Sobre las “rallanderías”

La experiencia adquirida tras varios años de trabajo investigativo en las “rallanderías” del departamento del Cauca permite recomendar determinados equipos, métodos y diseños (Chuzel et al., 1995a). Sin embargo, cada “rallandería” es un caso específico y cualquier recomendación debe ajustarse a las condiciones de su infraestructura y a las limitaciones económicas de sus propietarios.

“Rallandería” tradicional. Son las plantas procesadoras denominadas de tipo 1 (ver descripción anterior), cuya capacidad es de 800 a 1000 kg de raíces por hora.

1. La lavadora/peladora que se usa en estas “rallanderías” funciona por tandas (modelos 1 y 2) y se pierde tiempo en cargarla y descargarla en cada tanda. Se recomienda cambiarla por una máquina lavadora/peladora **semicontinua** (ver Figura 26-10B, modelo 3), porque ésta facilita la operación y, además, aumenta la capacidad de la planta de 800 a 1500 kg de raíces por hora.
2. Las coladoras mecánicas de cuatro apoyos o rodamientos (Figura 26-14) tienen algunos inconvenientes:
 - No conviene cargar la máquina en exceso porque, en ese estado, se detiene o se desacopla del engranaje.
 - El almidón se contamina con óxido o grasa de los rodamientos (los rodillos) porque éstos pueden entrar en contacto con la lechada.

Se recomienda sustituirlas por las **coladoras “colgadas”** o de semieje (Figura 26-13), que no presentan estos inconvenientes. Además, los tamices que están fuera de las coladoras deben tener lienzos o mallas más finos (120 mesh) para que retengan la fibrilla que pasa por el paño de las coladoras; esta fibrilla afecta la calidad del almidón.
3. La capacidad de sedimentación de la lechada de yuca es la mayor limitante de una “rallandería”. Esa capacidad depende del

sistema empleado para sedimentar la producción diaria.

- Si se emplean tanques de sedimentación, la capacidad está limitada por el número de tanques de que disponga la “rallandería”. En esos tanques, además, se mezcla parte de la “mancha” con el almidón, cuya calidad descende así a un nivel intermedio.
 - Si se emplean **canales de sedimentación**, la operación es continua. Además, el agua arrastra el material menos denso (p. ej., la mancha) y deja en el fondo del canal un almidón más limpio y sin mezcla de mancha.
 - Los canales pueden ser de diferente magnitud. Una recomendación importante es que no tengan inclinación (pendiente) y que se diseñen de tal manera que sus puntas o extremos sean curvos o redondeados. Así se evita que la lechada de yuca (agua con almidón) choque contra las paredes de los canales, forme turbulencia por contraflujo y ésta mezcle el almidón con la mancha en esos puntos.
4. Se recomienda considerar muy bien la transformación de un sistema construido en terreno plano por un sistema que aproveche el flujo del producto por gravedad: este cambio es tan costoso que equivale a hacer nuevamente la “rallandería”.
 5. Si el servicio de energía no es constante en la región donde funciona la “rallandería”, y pasan horas y días sin que se pueda procesar la yuca, hay que disponer de un **motor de gasolina**, además del motor eléctrico.
 6. Las correas o bandas que transmiten la potencia de los motores (transmisiones) son muy peligrosas. Se recomienda instalar las bandas en un solo lado de la “rallandería” y colocar protectores de banda para reducir la posibilidad de un accidente.
 7. Si se desea tener mayor seguridad industrial en el proceso, se instalan varios motores reductores (uno en cada máquina que lo requiera) en vez del único motor (eléctrico o de gasolina) que opera normalmente todo el

equipo. Ahora bien, el costo de esta mejora del proceso es alto.

Para que una “rallandería” de tipo 1 pueda aumentar su producción, deben tomarse las siguientes medidas:

- Instalar una coladora adicional.
- Aumentar el número de tanques de sedimentación o construir un sistema de canales.
- Aumentar el número de tanques de fermentación según la producción diaria.
- Aumentar el área del patio de secado.

“Rallandería” tradicional mejorada. Son las plantas llamadas de tipo 2 (ver antes la descripción del proceso); tienen canales y en ellas se facilitan las operaciones del proceso aprovechando la pendiente del terreno (Chuzel et al., 1995b).

1. En estas “rallanderías” se puede mejorar también la operación de secado, instalando una máquina “desgranadora”, para desmenuzar o “quebrar” el almidón compacto. El **almidón desgranado** puede esparcirse fácilmente, en poco tiempo y de modo uniforme.
2. El agua que sale de los canales puede ser reciclada para lavar con ella las raíces de yuca; se dispone así de más agua, lo que aumenta la rapidez y la eficiencia de esta operación y del proceso general. La Figura 26-19 presenta el plano ideal de una “rallandería” de este tipo.

“Rallandería” nueva. Cuando se piensa construir un **nuevo modelo** de “rallandería” (tipo 3), se debe tener en cuenta lo siguiente:

- El agua que se utilizará en el proceso debe ser de buena calidad y abundante, es decir, alrededor de 30 m³ por día.
- La temperatura del agua debe ser menor que 25 °C (agua fresca).
- Se recomienda someter a tratamiento los efluentes del proceso de obtención de almidón agrícola, para no contaminar con ellos las corrientes de agua cercanas a la “rallandería”. Donde no puedan tratarse las

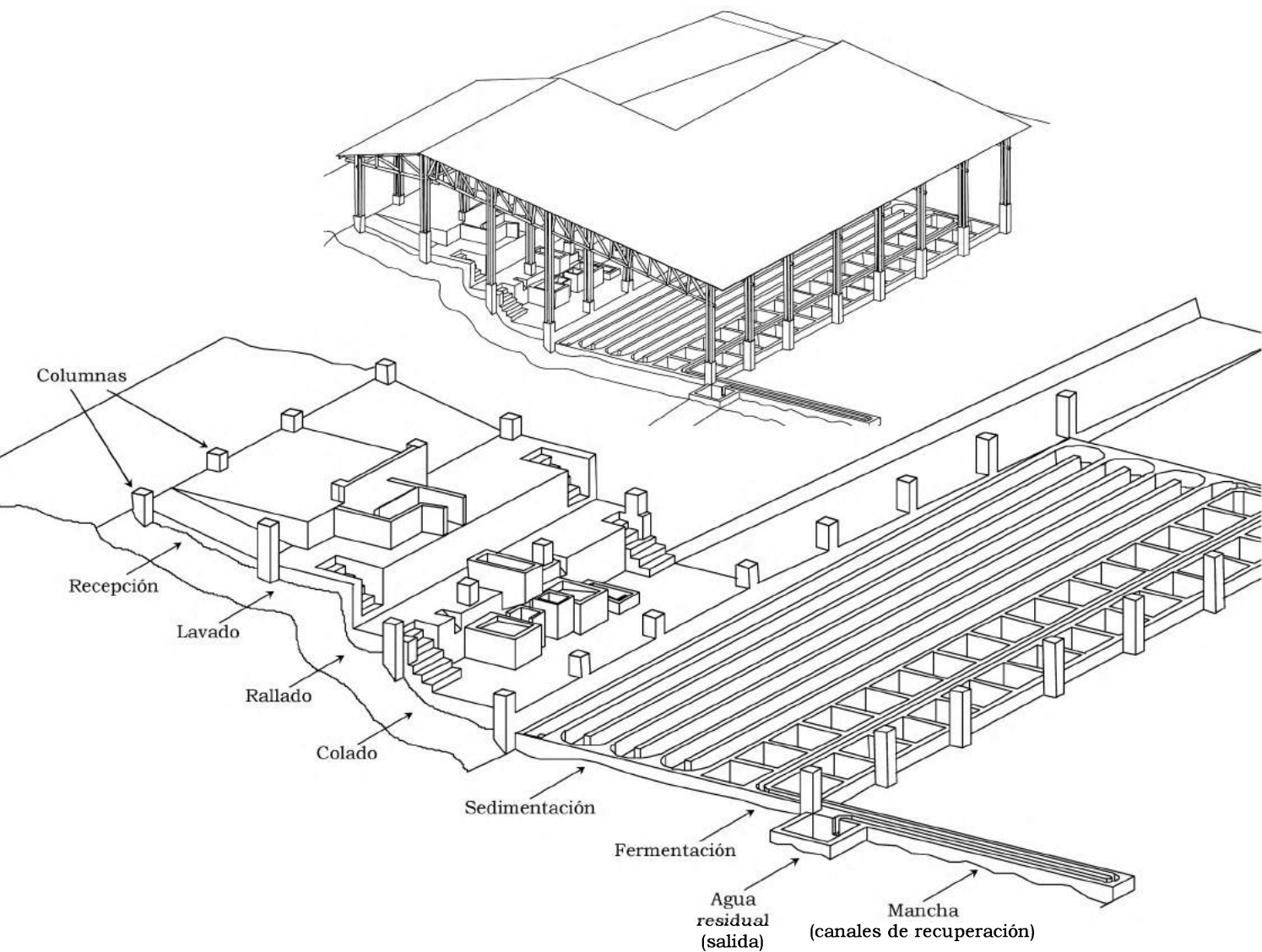
aguas residuales, éstas deben fluir hacia un sitio alejado de la “rallandería” que estará, por tanto, a menor nivel que ella en el terreno.

- La planta se construirá en un sitio cuya topografía permita aprovechar la gravedad en el proceso. Con una diferencia de 3.5 m entre el punto más alto y el más bajo de un sitio, es posible desarrollar un proceso de producción de almidón de yuca ayudado por la gravedad. El sistema facilitará un flujo semicontinuo de las operaciones a un costo más bajo.
- Los tanques de fermentación deben construirse enterrados, de manera que el borde superior del tanque esté a la misma altura que la parte superior de los canales.
- El agua del último canal puede hacerse pasar alrededor de los tanques para que la temperatura exterior de éstos se mantenga constante.
- Si el sitio elegido es plano, se le puede dar a la operación de rallado la altura necesaria (construyendo una estructura metálica y empleando un transportador de banda) para crear artificialmente un sistema por gravedad a partir de esa operación.

El plano descriptivo de una “rallandería” nueva que contenga las operaciones del proceso de extracción de almidón antes explicadas se presenta en la Figura 26-19.

Rendimiento comparativo. El diagrama siguiente compara la **capacidad de procesamiento** de los modelos de “rallandería” descritos (en toneladas de raíces frescas por mes) y la eficiencia de extracción, es decir, la relación (en peso) entre las raíces procesadas y el almidón extraído de ellas.

“Rallandería”	Capacidad de planta (t/mes)	Relación (peso) raíces:almidón tradicional
Tradicional	20	5.5:1
Mejorada	30	5.0:1
Nueva	50	4.5:1



26-19. Plano descriptivo de una rallandería ideal, bien establecida, que ilustra gráficamente el proceso de obtención de almidón agrio de yuca. La planta y techada se muestra arriba, en esta figura. Parte de este diseño se aplica actualmente en algunas rallanderías del departamento del Cauca (por ejemplo, *Totoyuca*, de CETEC, en Siberia, municipio de Caldonó).

Al pasar, por tanto, a una planta de mayor capacidad, mejora la extracción de almidón de la planta; además, del nivel de extracción de almidón depende notablemente la **rentabilidad** del proceso de extracción.

Sobre manejo de insumos

Agua. En el departamento del Cauca se producen 10,700 t de almidón por año. Para procesarlas se emplean 31 lt de agua por kg de almidón, lo que equivale a 332,000 m³ de agua al año. Este consumo de agua es igual al de una población de 10,000 habitantes, los cuales producirían, aproximadamente, 332,000 m³ de aguas contaminadas.

El agua que se emplea en el proceso de obtención del almidón de yuca proviene de diversas fuentes y tiene las siguientes características:

- El agua de lagos, ríos, quebradas y pozos superficiales está contaminada, generalmente, con materia orgánica y microorganismos.
- Las aguas de manantial tienen, por lo regular, un bajo contenido de minerales y son muy buenas para este proceso.
- El agua de pozos profundos está libre, en comparación con la superficial, de materia orgánica y microorganismos, porque las capas de suelo la purifican a medida que se infiltra en ellas, alejándose de la superficie.

Un pozo subterráneo puede contaminarse, sin embargo, por la presencia de pozos sépticos, cloacas y cañerías abandonados. Se ha observado que el agua contaminada recorre

grandes distancias a través de vetas de piedra caliza y otros materiales porosos para contaminar, finalmente, las aguas fluviales.

Es recomendable construir un **filtro natural** para el agua empleada en el proceso; consta de capas de grava gruesa, grava fina y arcilla, que reducen los minerales y sólidos en suspensión contenidos en las aguas de riachuelos, ríos y pozos (ver Apéndice 4).

El agua que sale de los canales de sedimentación suele verterse en **depósitos** cerca a la planta, de donde puede llevarse a un proceso de depuración. Cuando no se desecha, finalmente, en una corriente natural de agua, puede utilizarse de nuevo, esta vez en el lavado de la yuca. Se ahorra así cerca de 17% del agua que consume todo el proceso de obtención de almidón.

Materia prima. La calidad de la yuca empleada es fundamental para lograr un buen porcentaje de extracción de almidón de buena **calidad**, es decir, que tenga buena capacidad de panificación (crecimiento de la masa durante el horneado). Es indispensable, por tanto, seleccionar bien la variedad de yuca que se cultivará y las raíces que se procesarán.

Maquinaria. Es conveniente que todos los sistemas mecánicos de la "rallandería" estén ubicados de manera que el producto se mueva ayudado por la gravedad (ver Figura 26-22). Esta distribución da mayor capacidad de producción, utiliza menor área de trabajo, y permite instalar un sistema de transmisión movido por un solo motor, lo que hace muy económico el proceso.

Apéndice 1

Descripción Gráfica del Proceso de Extracción de Almidón

Las fotos ilustran los métodos empleados en diversas regiones (p. ej., Cauca y Caldas). Nótese

la evolución del proceso, desde el sistema tradicional hasta el mecanizado.



Foto 26A-1. Lavado de las raíces de yuca con los pies.



Foto 26A-2. Rallado de las raíces lavadas.

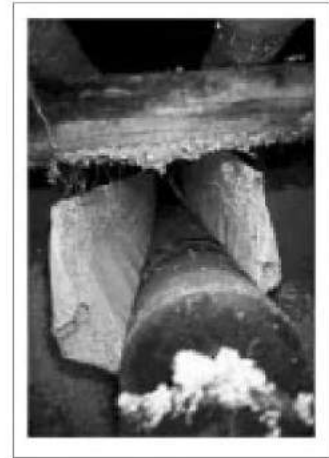


Foto 26A-3. Colado continuo de la masa rallada empleando un tornillo sinfin.



Foto 26A-4. Almidón sedimentado en tanques (el operario "desmancha" una capa).



Foto 26A-5. Fermentación del almidón húmedo en tanques.



Foto 26A-6. Secado al sol del almidón fermentado.

Figura 26-20A. Sistema tradicional (tipo 1) para extraer almidón de yuca.



Foto 26A-7. La yuca llega en sacos a la "rallandería".



Foto 26A-8. Lavado mecánico semicontinuo de las raíces (ver S. T. en Foto 26A-1).



Foto 26A-9. Rallado de las raíces lavadas (ver S. T. en Foto 26A-2).



Foto 26A-10. Colado de la masa rallada (ver S. T. en Foto 26A-3).



Foto 26A-11. Canales para sedimentar el almidón (ver S. T. en Foto 26A-4).



Foto 26A-12. Fermentación del almidón húmedo en tanques (ver S. T. en Foto 26A-5).



Foto 26A-13. Secado al sol del almidón fermentado (ver S. T. en Foto 26A-6).

Figura 26-21A. Sistema mecanizado (tipos 2 y 3) para extraer almidón de yuca. S. T. = sistema tradicional.

Apéndice 2

Uso Industrial del Almidón de Yuca

En el mundo se producen unos 33 millones de toneladas de almidón con fines industriales; de esa cantidad, sólo 3.8 millones (11.4%) provienen de la yuca. El resto es almidón de maíz (21.2 millones), de papa (1.96 millones), de trigo (2.01 millones), de arroz (0.05 millones) y de batata (4.17 millones) (Ostertag, 1996).

Industria de alimentos

El **almidón natural** (llamado también nativo, dulce o industrial) se usa, solo o mezclado, en la elaboración de macarrones y de diversas harinas; con éstas se preparan pudines, pasteles, galletas, obleas, bizcochos, almojábanas, cremas, helados, sopas, ensaladas, embutidos y otros productos alimenticios. Con el **almidón fermentado** (agrio) se elaboran también productos alimenticios tradicionales en Colombia, como el pandebono y el pan de yuca (Figura 26-22A).

- El almidón nativo puede modificarse por medios físicos y se convierte en **almidón pregelatinizado** (almidón-PG). Este almidón tiene la propiedad de que se dispersa en agua sin necesidad de someterlo a cocción.

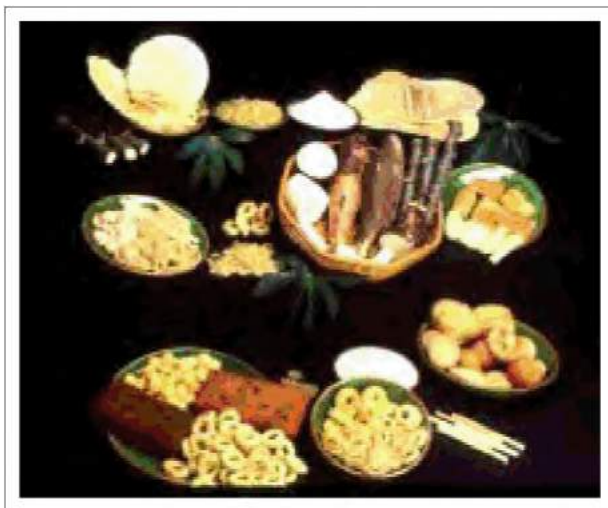


Figura 26-22A. Productos de la industria alimenticia de Colombia elaborados con almidón agrio de yuca.

- Se usa como aditivo para espesar, estabilizar o recubrir tortas de frutas, mezclas secas, pudines, crema de leche. La adición del almidón-PG mejora la textura y la apariencia de estos productos y de otros similares.
- El almidón nativo puede modificarse también por medios químicos. El producto resultante se utiliza en la industria alimenticia como espesante de salsas blancas, y para estabilizar y emulsificar aderezos para ensaladas, gelatinas nutritivas, postres instantáneos, helados, pudines y alimentos para bebé. Según la modificación que se le haga, el almidón modificado se usa en la industria del papel, de los adhesivos y otras (Balagopalan et al., 1988).

Industria del papel

El almidón nativo usado en la industria papelera se denomina **almidón no modificado** (almidón-NM). El tratamiento que recibe este producto comprende tres operaciones: el refinado (o tamizado), la purificación (operación estrictamente industrial) y el secado.

Papel y cartón. La elaboración del papel y del cartón consta de varias etapas, y en una de ellas (o en más de una) se adiciona almidón-NM al producto final para darle ciertas propiedades y diferente calidad.

- La industria del papel exige tres características básicas en el almidón-NM de yuca: blancura, bajo contenido de fibra y pocas impurezas. Puede tener el almidón otras características físicas o químicas, las cuales afectan el proceso de elaboración del papel o la formación de la pasta que le da origen.
- El almidón-NM ayuda a unir las fibras de celulosa del papel y forma una capa superficial que reduce la pelusa y aumenta la consistencia, la solidez y la durabilidad de las hojas de papel. Esta capa delgada da también mayor resistencia mecánica al cartón.

- El almidón-NM se emplea además como adhesivo en el laminado de ciertos papeles, de cajas corrugadas, de papel de colgadura (para empapelar), de tubos de cartón y de otros artículos. También se emplea en el reciclaje del papel y del cartón.

Pegantes. El almidón-NM es materia prima de las bases pegantes con los que se elaboran ya sea productos adhesivos o colas baratas.

- Estos pegantes se utilizan para fabricar materiales de embalaje, etiquetas, papel de envoltura y cinta pegante de humedecer, productos cuyo uso los hace desechables.
- Las bases pegantes son muy útiles para las empacadoras y etiquetadoras de alta velocidad, por dos razones: costo relativamente bajo y gran velocidad de adhesión.

Descomposición orgánica. El almidón-NM empleado en la industria papelería dura 3 ó 4 días sin descomponerse, al cabo de los cuales es fermentado por diversos microorganismos.

Esta fermentación produce gases (cuyo mal olor no se percibe inicialmente) y desnaturaliza el almidón-NM, alterando sus propiedades, a saber: pierde 25% de su capacidad de engomar, se reduce su viscosidad y cambia su acidez (pH).

Al almidón-NM deben agregarse, por tanto, sustancias que impidan el crecimiento de bacterias productoras de ácido láctico, de bacterias coliformes y de hongos (géneros *Penicillium* y *Aspergillus* y levaduras).

Industria textil

El almidón-NM es el ingrediente más abundante y barato y, por ello, el más importante de las diferentes colas textiles.

Engomado. El almidón-NM de yuca se prefiere (casi en forma exclusiva) en la industria textil, por dos razones: primera, sólo con él pueden tratarse los tejidos muy blancos; segunda, se degrada menos que el almidón proveniente de otras fuentes. Un tejido puede engomarse de manera temporal o permanente.

- El engomado temporal se aplica a la urdimbre justo antes de que ésta se convierta en tejido, para que las hebras (o hilazas) sean más resistentes, flexibles, suaves y lisas. El agente almidonante se deposita como una película sobre las hilazas de la urdimbre y las recubre totalmente.
- Evita así el deshilachado, el enredo, el moteado y la rotura de las hebras, efectos que perturbarían seriamente la elaboración del tejido.
- El engomado permanente se emplea en el proceso de acabado del tejido, y es relativamente estable, es decir, se mantiene hasta que la tela llega, por lo menos, a manos del consumidor.
- Impregnando el tejido, este engomado mejora la textura de la tela, aumenta el brillo superficial de ésta, le da “cuerpo” y solidez para facilitar su manipulación, eleva el “peso” y la calidad del estampado y aumenta, en general, la apariencia y la sensación textil de buena calidad de la tela.

Industria farmacéutica

El almidón-PG se emplea en farmacia para diluir, aglutinar, lubricar o desintegrar diversos productos sólidos. Este almidón actúa también como absorbente, da viscosidad y sirve de vehículo a sustancias pastosas, líquidas o semisólidas en la elaboración de cremas y lociones de uso dermatológico.

Se emplea, además, para fabricar polvos faciales finos, polvos compactos y polvos nutritivos y como soporte en la fabricación de obleas (Balagopalan et al., 1988).

Otros usos

El almidón-NM de yuca se usa en la industria química para obtener alcoholes, glucosa y acetona; para fabricar explosivos, colorantes, pilas secas e impresiones dentales, y en la coagulación del caucho.

El almidón-NM se usa en minería como floculante y como componente de las soluciones empleadas en la perforación de pozos de petróleo.

Apéndice 3

Costos de una “Rallandería”

Construcción e instalación

Una “rallandería” de yuca de tipo 3, con capacidad para producir 30 toneladas de

almidón por mes (300 t/año y 10 meses de operación), implica los costos de infraestructura y equipo que se indican en el Cuadro 26A-1.

Cuadro 26A-1. Costos de una “rallandería”. (Valores a septiembre de 1998.)

Elemento	Cantidad	Costo (US\$)
Maquinaria y equipo para el proceso		
Lavadora/peladora de yuca (2 t de raíces por hora) ^a		1,000
Rallador de yuca (2 t de raíces por hora)		500
Coladora de yuca (300 kg de masa rallada por hora) ^b	x 2	2,000
Tamiz vibratorio ^c		300
Desgranador de almidón fermentado, con motor (1.5 kg/hora)		700
Subtotal		4,500
Infraestructura de la planta		
Canales de sedimentación (largo 30 m, ancho 60 cm y alto 40 cm, cada uno) ^d	x 7	15,000
Patios de secado del almidón (2000 m ² área, 8 cm espesor)		18,000
Tanques de fermentación (1.5 m ³ cada uno) ^e	x 20	15,000
Obra civil general (400 m ²) ^f		10,000
Cubierta o techado de la planta ^g		6,000
Bodega para almacenar almidón (30 m ³)		8,000
Tanque para depositar la mancha (30 m ³)		8,000
Tanque para depositar el afrecho (15 m ³)		4,000
Transmisión de potencia		700
Subtotal		84,700
Total		89,200

a. Varios modelos de lavadora/peladora dan ese rendimiento.

b. Modelo: mecánica y discontinua.

c. Para segunda colada.

d. Con enchapado en baldosín.

e. Con enchapado en baldosín y madera.

f. Columnas, muros, pisos, desagües.

g. Guadua y zinc, principalmente.

Relación costos/precio

La relación entre el precio de la materia prima y el precio del producto final puede expresarse de

varios modos, según los costos y precios que se deseen incluir en la relación (US\$ a septiembre de 1998).

1. Precios de venta

Almidón agrio, seco (1 t)		US\$827.70
Afrecho (0.45 t/t almidón)		21.70
Mancha (0.10 t/t almidón)		9.60
1 t de afrecho	=	US\$48.30
1 t de mancha	=	US\$96.60
Precio del producto total		859.00

2. Costos variables

Materia prima (5t)		345.00
(Costo de raíces necesarias para producir 1 t de almidón)		
Mano de obra, energía y varios		48.00
Costos variables totales		US\$393.00

3. Relación costo/producto

a. Valor agregado del proceso:

$$1 - \frac{\text{Costo materia prima}}{\text{Precio almidón agrio (1 t)}} = 1 - \frac{\text{US\$345.00}}{\text{US\$827.70}} \cong 0.58$$

b. Retorno por venta de almidón a los factores de producción:

$$1 - \frac{\text{Costo variables totales}}{\text{Precio almidón agrio (1 t)}} = 1 - \frac{\text{US\$393.00}}{\text{US\$827.70}} \cong 0.52$$

c. Retorno por venta de [(almidón + subproductos)] a los factores de producción:

$$1 - \frac{\text{Costos variables totales}}{\text{Precio total [almidón + subproductos]}} = 1 - \frac{\text{US\$393.00}}{\text{US\$859.00}} \cong 0.54$$

Apéndice 4

Sistema para Tratamiento de Aguas Residuales

Ricardo Ruiz Cabrera*

En el proceso de extracción del almidón de yuca se consumen grandes cantidades de agua y se generan efluentes que, arrojados a las corrientes de aguas superficiales, causan un considerable impacto negativo en los sistemas bióticos. Desde el punto de vista técnico y económico, los sistemas anaeróbicos y, en particular, los biodigestores, son una alternativa importante para el tratamiento de este tipo de efluentes.

En este Apéndice se presenta y se evalúa un biodigestor corriente y un biodigestor complementado con plantas acuáticas.

Antecedentes

El agua residual proveniente de la etapa de sedimentación en el proceso de extracción es el principal problema que causa éste al ambiente. En promedio, el agua residual que una "rallandería" puede producir oscila entre 20 y 30 m³/día, lo que depende del nivel de tecnología empleado y de las horas diarias de trabajo.

Según los análisis efectuados por Rojas en 1992, estas aguas residuales poseen una considerable capacidad de contaminación porque arrastran abundante materia orgánica en partículas, poseen moderada acidez y contienen pequeñas cantidades del ion cianogénico (CN⁻).

Varios estudios han encontrado (Duque, 1994) que este tipo de efluente tiene una biodegradabilidad del 70% para una muestra insoluble y del 92% para una muestra soluble; el 8% del material soluble resistente a la biodegradación es probablemente inorgánico.

Los efluentes líquidos provenientes del proceso presentan valores² de DQO entre 3000 y

7000 mg/lit. Diferentes estudios desarrollados por el plan de Ingeniería Sanitaria de la Universidad del Valle han mostrado la factibilidad de depurar estas aguas residuales cuando se utilizan sistemas de digestión anaeróbica. Son ejemplos los reactores de fases separadas y los reactores de flujo ascendente y manto de lodos.

Evaluación de reactores

En 1997, la Corporación para Estudios Interdisciplinarios y Asesoría Técnica (CETEC) realizó el montaje del sistema de tratamiento anaeróbico en tres "rallanderías" del municipio de Santander de Quilichao, Cauca, cuyas aguas residuales se vierten en el río Mandiva.

El tipo de reactor construido en estas plantas fue el **biodigestor de tipo balón** que fue complementado luego con un sistema basado en plantas acuáticas. La evaluación del desempeño de estos biodigestores fue hecha por la sección de Saneamiento Ambiental de la Universidad del Valle, y se consignó en la tesis de grado titulada "*Evaluación del desempeño de dos biodigestores en el tratamiento de las aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca*", que fue presentada por Javier A. Manrique M., del Programa Ingeniería Química, de esa universidad, en junio de 1999.

Los objetivos del estudio mencionado fueron:

- Iniciar y operar un sistema piloto de tratamiento.
- Evaluar el desempeño del sistema midiendo el porcentaje de remoción de materia orgánica y de sólidos.
- Determinar las condiciones necesarias para lograr la adaptación de la biomasa al sustrato y garantizar el normal funcionamiento del sistema.

Las principales conclusiones del estudio de evaluación fueron:

* Ingeniero Industrial, Agroindustria Rural, CETEC, Cali, Colombia. E-mail: cetec@andinet.com
2. DQO = demanda química de oxígeno, es decir, la cantidad de oxígeno que necesita un volumen determinado de un efluente para llevar a cabo la degradación química de la materia orgánica que éste contiene. DBO es esa cantidad de oxígeno para degradar microbiológicamente la materia orgánica de un efluente.

- Bajo las condiciones en que se operó el reactor, el mayor porcentaje de disminución de DQO fue de 76.6% y el de remoción de sólidos fue de 61%. Estos valores se registraron para un tiempo de retención hidráulica de 21 horas, como se observa en el Cuadro 26A-2.
- No se puede afirmar que los biodigestores de tipo balón no son una alternativa apropiada para el tratamiento de las aguas residuales que generan el proceso de extracción de almidón de yuca. Si el reactor se opera con un control muy estricto de los parámetros de operación, particularmente el de pH (debe estar entre 6.7 y 7.4), es posible obtener resultados altamente satisfactorios con el biodigestor.
- Para mantener el pH del agua residual en el rango óptimo para el proceso de digestión anaeróbica es necesario disponer de un sistema que permita agregar una solución alcalinizadora, de manera constante y proporcional, al caudal del sustrato manejado. Los hidróxidos de calcio y de sodio dieron buenos resultados en esta tarea.
- Si las alternativas que se buscan para tratar aguas residuales deben estar al alcance de sectores sociales muy limitados para acceder a la tecnología y a los recursos financieros, vale la pena seguir mejorando este tipo de

Cuadro 26A-2. Resultados de la operación del reactor de tipo biodigestor de balón en la evaluación hecha por la Universidad del Valle en 1999.

Parámetro (unidades)	Valor afluente	Valor efluente	Remoción (%)
pH	6.7	6.9	
DQO _t (mg/lit)	3806.17	890.23	76
DQO _s (mg/lit)	3012.58	816.12	79
SST (g/lit)	0.58	0.23	61.15
SSV (g/lit)	0.52	0.21	60.34

- a. DQO_t = demanda química de oxígeno *total* (o sea, incluyendo las algas en contenidos de M.O.).
 DQO_s = demanda química de oxígeno *soluble* (o sea, excluyendo las algas).
 SST = sólidos suspendidos totales (en el efluente, por ejemplo).
 SSV = sólidos suspendidos volátiles (en el efluente, por ejemplo).

reactores porque tienen costos de infraestructura muy bajos.

Descripción y montaje del biodigestor de balón

Este sistema se montó en dos “rallanderías” al norte del departamento del Cauca; ambas influían en las cuencas de los ríos Mandiva y Quinimayó. Cada biodigestor está constituido por dos tubulares de doble capa de 2.5 m de diámetro, elaborados en polietileno calibre 8, y tiene aditivos que lo protegen de los ácidos y de la luz ultravioleta. Estos tubulares se entierran en fosas independientes, cada una de las cuales tienen un área transversal de 3 m². Los extremos de cada tubular están sujetos — completamente sellados a ellas— a cajas de concreto que cumplen las funciones de entrada del afluente y salida del efluente. En la parte inferior se conecta el sistema de evacuación de lodos y la salida del biogás en la parte superior.

Los parámetros para el diseño del biodigestor son los siguientes:

- Caudal promedio del afluente: 2.7 m³/hora
- Tiempo de retención hidráulica mínima: 21 horas
- Volumen requerido: 57 m³

Dados estos parámetros, la construcción del biodigestor requiere los siguientes elementos:

- Dos fosas de 16 m de largo, con un área transversal neta de 3 m² y un área transversal efectiva de ocupación del sustrato de 2 m².
- Dos tubulares plásticos, calibre 8, de doble capa, de 2.5 m de diámetro y 20 m de longitud.
- Dos cajas de entrada en mampostería de 1.0 m³ y 0.70 m de altura, con tubo en concreto de 12 pulgadas de diámetro.
- Dos cajas de salida en mampostería de 1.0 m³ con tubo en concreto de 12 pulgadas.
- Un sistema de evacuación de lodos y un sistema de conducción y uso del biogás.

Bibliografía

- Alarcón M F. 1989. Obtención de dextrinas a partir del almidón de yuca. Tesis. Universidad del Quindío, Armenia, Colombia. 120 p.
- Alarcón M F. 1993a. Documento de asesoría técnica para la Costa Atlántica de Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 6 p. (Multicopiado.)
- Alarcón M F. 1993b. Documento de asesoría técnica para la zona del Patía, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 7 p. (Multicopiado.)
- Alarcón M F. 1994a. Diagnóstico de la producción de yuca en Manabí, Ecuador. En: Producción, procesamiento, utilización y comercialización de la yuca. Memorias de un seminario celebrado en el INIAP, Ecuador, octubre 1994. Portoviejo, Ecuador. p. 10-12.
- Alarcón M F. 1994b. Utilización de los subproductos de la yuca en la alimentación animal. En: Producción, procesamiento, utilización y comercialización de la yuca. Memorias de un seminario celebrado en el INIAP, Ecuador, octubre 1994. Portoviejo, Ecuador. p. 15-17.
- Alarcón F. 1996. Obtención del almidón de yuca a pequeña escala; proceso general de extracción. En: Montaldo A (comp.). La yuca frente al hambre del mundo tropical. Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela. p. 349-364.
- Balogopalan C; Padmaja G; Nanda SK; Moorthy SN. 1988. Cassava in food, feed and industry. CRC Press, Boca Raton, FL, E.U. 205 p.
- Brabet C; Chuzel G; Dufour D; Raimbault M; Giraud J. 1996. Improving cassava sour starch quality in Colombia. En: Dufour D; O'Brien GM; Best R (eds.). Cassava flour and starch: Progress in research and development. CIRAD-SAR y CIAT, Cali, Colombia. p. 241-246.
- Buitrago JA. 1990. La yuca en la alimentación animal. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 450 p.
- CECORA (Central de Cooperativas de la Reforma Agraria). 1988. Diagnóstico socioeconómico del Cauca. 150 p.
- Chacón MP; Mosquera L. 1992. Estudio del sistema socioeconómico de la producción de almidón de yuca en el norte del Cauca. Tesis. Programa de Economía, Corporación Universitaria Autónoma de Occidente, Cali, Colombia. 148 p.
- Chuzel G; Muchnik J. 1993. La valorisation des ressources techniques locales: L'amidon aigre de manioc en Colombie. En: Alimentation, techniques et innovations dans les régions tropicales. Harmattan, Paris. p. 307-337.
- Chuzel G; Pérez D; Dufour D; Alarcón M F. 1995. Amélioration d'un système d'extraction par voie humide d'amidon de manioc. En: Agbor-Egbe T; Braumann A; Griffon D; Trèche S (eds.). Transformation alimentaire du manioc (Cassava food processing). ORSTOM, Paris. p. 637-647.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1995a. La industria del almidón en el Departamento del Cauca, Colombia. CORPOTUNIA, CIRAD, CETEC, UNIVALLE, Fundación Carvajal y CIAT, Cali, Colombia. 16 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1995b. Resultados de las visitas a las rallanderías del Cauca. Cali, Colombia. 12 p. (Multicopiado.)
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1996. Cassava: The latest facts about an ancient crop. Cali, Colombia. (Plegable.)
- Cock JH. 1989. La yuca: Nuevo potencial para un cultivo tradicional. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 240 p.
- Domínguez O CE. 1983. Yuca: Investigación, producción y utilización. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 660 p.

- Dufour D; Larssonneur S.; Alarcón MF; Brabet C; Chuzel G. 1996. Improving the bread-making potential of cassava sour starch. En: Dufour D; O'Brien G M; Best R (eds.). Cassava flour and starch: Progress in research and development. CIRAD-SAR y CIAT, Cali, Colombia. p. 133-143.
- Duque A. 1994. Proyecto para el control de los vertimientos generados en el beneficio de la yuca en el sector de Mondomo, Santander de Quilichao. Tesis. Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1999. Data Base. <http://www.fao.org>
- Figuerola C. 1991. Fermentación del almidón de yuca. Tesis. Facultad de Biología, Universidad del Valle, Cali, Colombia. 100 p.
- Gottret MV. 1996. Caracterización tecnológica y adopción de tecnología en las rallanderías del departamento del Cauca, Colombia. En: Segundo Simposio Latinoamericano de Investigación y Extensión en Sistemas Agroalimentarios, Bogotá D.C., Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 15 p.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 1993. Cauca: Características geográficas. Bogotá, D.C., Colombia. (Mapas.)
- Jones SF. 1983. The world market for starch and starch products with particular reference to cassava (tapioca) starch. Report no. G173. Tropical Development and Research Institute, Londres, Reino Unido. 98 p.
- Ostertag C. 1996. World production and marketing of starch. En: Dufour D; O'Brien GM; Best R (eds.). Cassava flour and starch: Progress in research and development. CIRAD-SAR y CIAT, Cali, Colombia. p. 105-120.
- Pinto R. 1977. Generalidades sobre procesamiento, utilización y comercialización del almidón de yuca. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Bogotá D.C., Colombia. 90 p.
- Rojas Ch O; Torres L P; Alazard D; Farinet J-L; Cardoso MC Z de. 1996. Cassava starch extraction: A typical rural agroindustry with a high contamination potential. En: Dufour D; O'Brien GM; Best R (eds.). Cassava flour and starch: Progress in research and development. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 233-238.
- Wheatley CC. 1991. Calidad de las raíces de yuca y factores que intervienen en ella. En: Hershey CH (ed.). Mejoramiento genético de la yuca en América Latina. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 267-291.
- Zakhia N; Dufour D; Chuzel G; Griffon D. 1996. Review of sour cassava starch production in rural Colombian areas. Tropical Science 36:247-255.