

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) se dedica al alivio del hambre y de la pobreza en los países tropicales en desarrollo, mediante la aplicación de la ciencia al aumento de la producción agrícola, conservando, a la vez, los recursos naturales.

El CIAT es uno de los 16 centros internacionales de investigación agropecuaria auspiciados por el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (GCAI).

El presupuesto básico del CIAT es financiado por 27 donantes, entre los que figuran gobiernos de países, organizaciones para el desarrollo regional e internacional y fundaciones privadas. En 1998, los siguientes países son donantes del CIAT: Alemania, Australia, Bélgica, Brasil, Canadá, Colombia, Dinamarca, España, los Estados Unidos de América, Francia, Holanda, Italia, Japón, México, Noruega, el Reino Unido, Sudáfrica, Suecia, Suiza y Tailandia. Las entidades donantes incluyen el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Banco Mundial, el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID), la Fundación Ford, la Fundación Rockefeller, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), y la Unión Europea (UE).

La información y las conclusiones contenidas en esta publicación no reflejan necesariamente los puntos de vista de los donantes.

El Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, CIRAD) es una organización francesa de investigación, especializada en la agricultura de los trópicos y subtrópicos. Fue establecido como entidad estatal en 1984 para consolidar varias organizaciones francesas que investigaban en agricultura, veterinaria, silvicultura y tecnología alimentaria en las regiones tropical y subtropical.

La misión del CIRAD es contribuir al desarrollo económico de esas regiones mediante la investigación, la experimentación, la capacitación y la diseminación de la información técnica y científica. El Centro emplea 1800 funcionarios cuya labor se realiza en 50 países; de ellos, 900 pertenecen al personal principal. El presupuesto del Centro llega, aproximadamente, a 1000 millones de francos franceses (aproximadamente, US\$195 millones), de los cuales más de la mitad proviene de fondos públicos.

CIRAD está compuesto por siete departamentos: CIRAD-CA (cultivos anuales), CIRAD-CP (cultivos de especies arbóreas), CIRAD-FLHOR (frutales y cultivos hortícolas), CIRAD-EMVT (producción pecuaria y medicina veterinaria), CIRAD-Forêt (manejo de bosques), CIRAD-AMIS (mejoramiento de los métodos que propician la innovación científica), y CIRAD-GERDAT (administración, servicios y laboratorios comunes, documentación). El CIRAD emplea, para realizar su trabajo, sus propios centros de investigación, los sistemas nacionales de investigación agropecuaria o los proyectos de desarrollo.

ISBN 958-9439-67-5

Almidón Agrio de Yuca en Colombia

Tomo 1 : Producción y Recomendaciones

Freddy Alarcón M.
Dominique Dufour



Centre de coopération internationale en recherche
agronomique pour le développement
**Département d'amélioration des méthodes
pour l'innovation scientifique**

Centro Internacional de Agricultura Tropical
International Center for Tropical Agriculture
Apartado aéreo 6713
Fax: (57-2) 4450-073
e-mail: r.best@cgiar.org
Cali, Colombia

Publicación CIAT No. 268
ISBN 958-9439-67-5
Tiraje: 1000 ejemplares
Impreso en Colombia
Diciembre 1998

Alarcón M., Freddy ; Dufour, Dominique. Almidón agrio de yuca en Colombia : producción y recomendaciones. -- Cali, Colombia : Centro Internacional de Agricultura Tropical ; Montpellier, Francia : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Département d'amélioration des méthodes pour l'innovation scientifique, 1998.
1 v. (35 p.) -- (Publicación CIAT ; no. 268)
ISBN 958-9439-67-5

Manihot esculenta. Variedades. Tapioca. Desmenuzamiento. Tamizado. Decantación. Fermentación. Secado. Mercadeo.

Freddy Alarcón Morante es Tecnólogo Químico de Productos Vegetales, especialista en procesamiento del almidón en el proyecto Desarrollo de Agroempresas Rurales, del CIAT.

Dominique Dufour, Ph.D., es Tecnólogo de Alimentos, investigador del CIRAD-AMIS (Montpellier, Francia) y coordinador en el CIAT del proyecto colaborativo "Valorización de la yuca en América Latina", desarrollado por ambas instituciones.

Derechos de Autor CIAT 2002. Todos los derechos reservados

El CIAT propicia la amplia disseminación de sus publicaciones impresas y electrónicas para que el público obtenga de ellas el máximo beneficio. Por tanto, en la mayoría de los casos, los colegas que trabajan en investigación y desarrollo no deben sentirse limitados en el uso de los materiales del CIAT para fines no comerciales. Sin embargo, el Centro prohíbe la modificación de estos materiales y espera recibir los créditos merecidos por ellos. Aunque el CIAT elabora sus publicaciones con sumo cuidado, no garantiza que sean exactas ni que contengan toda la información.

Contenido

	Página
Prólogo	v
Introducción	1
<i>El Cultivo de la Yuca</i>	
Planta y Cultivo	3
Análisis de la Raíz	4
Cianógenos	5
Variedades	5
Producción y Rendimiento	6
En el mundo	6
En Colombia	6
En el departamento del Cauca	7
Productores y procesadores	7
Producción y beneficio de la yuca	8
<i>Procesamiento de la Yuca</i>	
Lavado de las Raíces	9
Métodos de lavado	9
Lavado/pelado manual	9
Lavado/pelado mecánico	10
Tipos de máquina lavadora	10
Lavadora/peladora cilíndrica de semieje para carga lateral (Modelo 1)	10
Lavadora/peladora cilíndrica de eje central para carga frontal (Modelo 2)	11
Lavadora/peladora cilíndrica semicontinua (Modelo 3)	11
Capacidad de las lavadoras/peladoras	11
Pérdidas en el lavado/pelado	12
Rallado de las Raíces	12
Rallador o rallo	12
Operación del rallo	12
Colado o Tamizado	14
Método manual	14
Método mecánico continuo	14
Método mecánico discontinuo	14
Características del colado	15
Afrecho (subproducto)	15
Segundo colado	15

	Página
Sedimentación del Almidón	15
Tanques de sedimentación	16
Canales de sedimentación	16
Agua residual	16
Mancha (subproducto)	17
Fermentación del Almidón	18
Proceso de fermentación	18
Secado del Almidón	19
Tratamiento Final del Almidón	19
Comercialización	19
Rendimiento	20
Calidad del Almidón Agrícola	20
Recomendaciones Generales	21
Sobre las rallanderías	21
Rallandería tradicional	21
Rallandería tradicional mejorada	22
Rallandería nueva	22
Rendimiento comparativo	24
Sobre manejo de insumos	24
Agua	24
Materia prima	24
Maquinaria	24
Referencias	25
Apéndice 1. Descripción Gráfica del Proceso de Extracción de Almidón	27
Sistema tradicional (tipo 1)	27
Sistema mecanizado (tipos 2 y 3)	27
Apéndice 2. Uso Industrial del Almidón de Yuca	30
Industria de alimentos	30
Industria del papel	31
Industria textil	31
Industria farmacéutica	32
Otros usos	32
Apéndice 3. Costos de una Rallandería	33
Construcción e instalación	33
Costos de operación	34
Relación costos/precio	35

Prólogo

La sección de Utilización de Yuca del antiguo Programa de Yuca del CIAT y —más recientemente— los proyectos de Desarrollo de Agroempresas Rurales y de Valorización de la Yuca en América Latina han trabajado desde 1988 con las “rallanderías” de la zona andina occidental de Colombia para estudiar el procesamiento del almidón de yuca, es decir, la transformación de las raíces de yuca en almidón.

La implementación de estos proyectos fue el resultado de un acuerdo de colaboración internacional entre el CIAT, cuya sede se halla en Colombia, y el CIRAD, de Francia. Su objetivo específico (en especial, del segundo proyecto) era mejorar la rentabilidad del proceso de extracción de almidón de yuca y la calidad del producto obtenido (el almidón agrio) en las unidades de producción de la zona mencionada, con el fin de agregar valor a la yuca, un producto agrícola de importancia estratégica en 1a región latinoamericana. Las actividades de ambos proyectos —incluyendo la encuesta hecha a los productores de almidón en 1995— se concentraron en el departamento del Cauca, Colombia.

Este manual es el Tomo I de una obra que constará de dos tomos. En él se informa al lector sobre los resultados de los proyectos dichos y, al mismo tiempo, se da una guía a quienes estén interesados, tanto en Colombia como en otras regiones del mundo, en desarrollar el proceso de obtención de almidón agrio de yuca. Se describe, por tanto, la tecnología existente en las plantas procesadoras de yuca que producen almidón en la región considerada, las cuales tienen una capacidad de 1 a 5 t de raíces por turno de procesamiento de 8 horas. Esa tecnología mejorada de extracción de almidón de yuca podrá adaptarse sin dificultad a regiones productoras de yuca de muchos países del cinturón tropical que dispongan de agua suficiente y posean condiciones climáticas favorables.

Se ha difundido, en efecto, la tecnología a varias zonas de Colombia en los últimos años. Esta experiencia regional ha permitido transferirla exitosamente a otros países latinoamericanos (Ecuador, Honduras y Nicaragua) que la han solicitado.

El Tomo II de esta obra (todavía en elaboración) contiene los planos que se necesitan tanto para la construcción de una planta procesadora de yuca como para la fabricación de la maquinaria empleada en la planta. Esta se presentará como una rallandería modelo, porque reunirá las innovaciones tecnológicas desarrolladas (en los proyectos antes mencionados) gracias a la contribución de procesadores de almidón y de fabricantes de equipos electromecánicos de la zona, y al aporte de científicos y técnicos de varias instituciones nacionales e internacionales.

Los autores agradecen a la Corporación para Estudios Interdisciplinarios y Asesorías Técnicas (CETEC) y, en especial, a Ricardo Ruiz, ingeniero de esa ONG, por su valiosa participación en el desarrollo de estos trabajos. Asimismo, agradecen la colaboración de Martín Moreno y Adolfo León Gómez, profesores de la Universidad del Valle, en Cali, Colombia.

Hacen también un reconocimiento especial a innumerables agricultores, campesinos y “rallanderos” del departamento del Cauca y de otras regiones de Colombia, por la información tan útil que han suministrado para la elaboración de esta obra.

Agradecen además el apoyo científico y financiero permanente del CIRAD-AMIS a este proyecto y, en especial, al Dr. Gérard Chuzel (investigador del CIRAD), quien inició el trabajo gracias a la financiación recibida del Ministerio de Relaciones Exteriores de Francia. Reconocen haber aprovechado el valioso acervo de experiencias en el manejo y utilización de la

yuca que acumularon los investigadores del antiguo Programa de Yuca del CIAT.

Al Dr. Rupert Best, líder del proyecto Desarrollo de Agroempresas Rurales, un sincero agradecimiento por la revisión final del

manuscrito. A los profesores y estudiantes, finalmente, de la Universidad del Valle y de la Universidad Autónoma de Occidente que colaboraron en los estudios del proyecto, una palabra de aprecio.

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, con el cual se elaboran 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 que el proceso es completamente artesanal, otras que ya están mecanizadas pero siguen siendo muy tradicionales y otras que, aun estando más tecnificadas, permanecen aún en el nivel de la industria a pequeña escala (Zakhia et al., 1996).

Hay, además, en Colombia 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* en Colombia) 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 a 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, se realizaron en el departamento del Cauca, Colombia, donde las *rallanderías* se levantan a lado y lado de la carretera panamericana que, en esa región, une a Pasto con Popayán y Cali. Estas *rallanderías* se dedican básicamente a la producción de almidón agrio de yuca.

Como se mencionó antes, el primer tomo del manual recopila la *experiencia adquirida* durante la ejecución de este proyecto colaborativo, cuyo objetivo era mejorar tecnológicamente el procesamiento dado a la yuca para obtener 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... y Desarrollo de Agroempresas...) y del manual es, por tanto, 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 estudia actualmente la factibilidad de su transferencia a otros países latinoamericanos.

El lector interesado en los planos, el diseño o la construcción, tanto de las máquinas del proceso de extracción aquí descritas como de la

planta física (la rallandería y sus instalaciones conexas) debe dirigirse al proyecto Desarrollo de Agroempresas Rurales (SN-1) del CIAT, con cargo al Sr. Freddy Alarcón (primer autor del manual), a la siguiente dirección:

A. A. 6713
Cali, Colombia
Fax: (57-2) 4450-073
e-mail: r.best@cgiar.org
alarconf@hotmail.com

También puede dirigirse al Dr. Dominique Dufour (segundo autor), a la siguiente dirección:

CIRAD-AMIS Programme Agro-alimentaire
73 rue Jean François Bréton
BP 5035
34032 Montpellier Cédex 1
France (Francia)
Fax: (33) 467-611223
e-mail: dominique.dufour@cirad.fr

El Cultivo de la Yuca

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es una especie de raíces amiláceas que se cultiva en los trópicos y subtrópicos (Foto 1). 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 y cada una tiene características



Foto 1. Planta de yuca (*Manihot esculenta* Crantz).

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 una tonelada (1000 kg) de yuca fresca se pueden obtener 280 kg de harina o 230 kg de almidón o 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 aquéllos 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 (Foto 2) se compone de tres tejidos: el periderma (cascarilla), el parénquima cortical (corteza) y el parénquima interior (Figura 1).

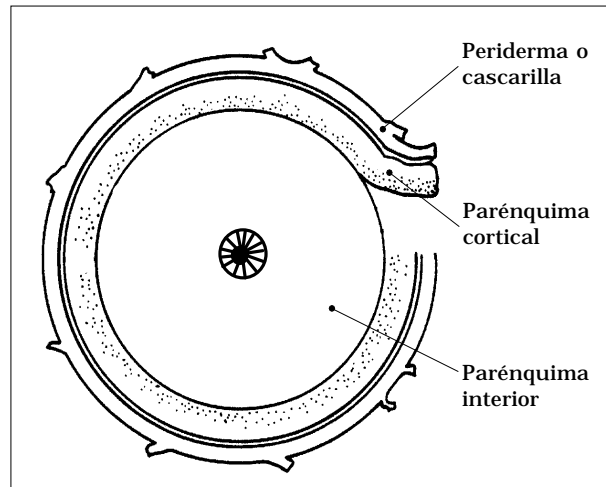


Figura 1. Corte transversal de la raíz de yuca.



Foto 2. Raíces de yuca ya cosechadas. Nótese la corteza externa parcialmente desprendida.

- 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 el 30% y el 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 una enzima (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 actualmente, porque no hay estabilidad en el 'contenido' de ácido (o sea, 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 la yuca, 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, el contenido 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 1997 llegó a más de 166 millones de toneladas métricas anuales (se producían sólo 70 millones en 1960), de las cuales 51.7% (85.9 millones) se cosechó en Africa, 28.7% (47.7 millones) en Asia y el 19.4% restante (32.3 millones) en América Latina y el Caribe.

Los principales países productores de yuca son Nigeria, Brasil, Zaire, Tailandia e Indonesia;

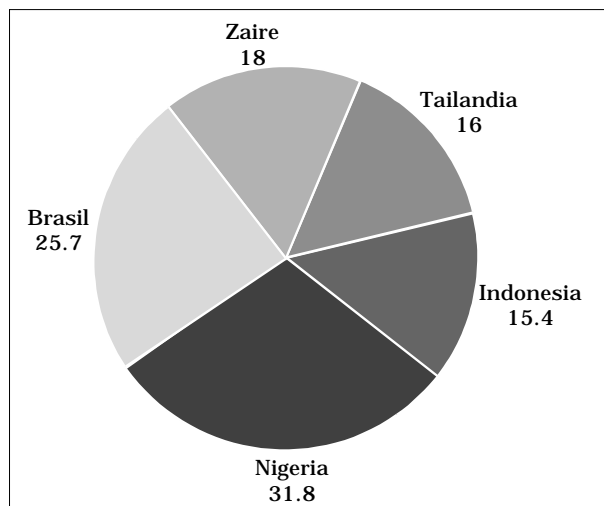


Figura 2. Producción de raíces de yuca (millones de toneladas) en los principales países productores del mundo (FAO, 1997).

su producción de raíces frescas (FAO, 1997) aparece en la Figura 2. El mayor consumo anual por persona está en Africa (más de 90 kg) y Zaire es el país que más consume yuca (391 kg por persona al año, que equivalen a 1123 calorías por día). El consumo mundial es de unos 18 kg por persona al año.

De la producción mundial (Figura 3), 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 del 33 % a la alimentación animal y el 7% restante a la producción de almidón y a las biotransformaciones del producto (Jones, 1983). 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 1997, a 1.9 millones de toneladas métricas, que corresponden al puesto 16 en el mundo (FAO, 1997); el rendimiento medio es de 9.95 t/ha, según datos del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) del país. La principal zona productora de yuca en Colombia es la Costa Atlántica; una cantidad considerable de este producto sale también de

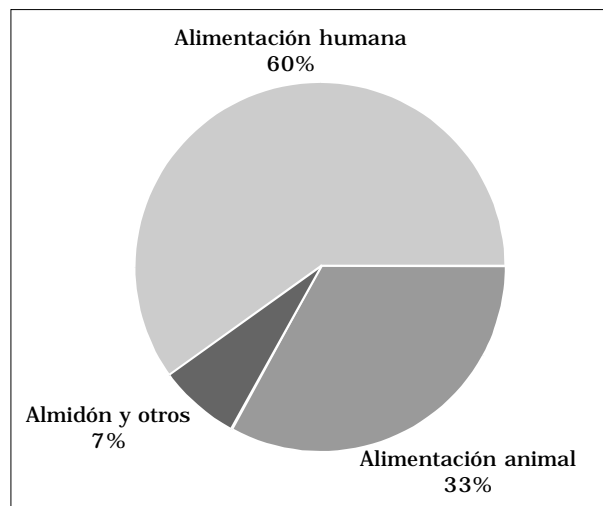


Figura 3. Distribución de la producción de yuca destinada al uso local (85%) en el mundo (FAO, 1997).

los Llanos Orientales. El departamento del Cauca figura con un 3% 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 departamento del Cauca (IGAC, 1993) es el principal productor de almidón agrio de yuca en Colombia, ya que procesa casi el 80% de la producción total del país. En 1994 había en este departamento (Foto 3) unas 6450 ha cultivadas con yuca que producían unas

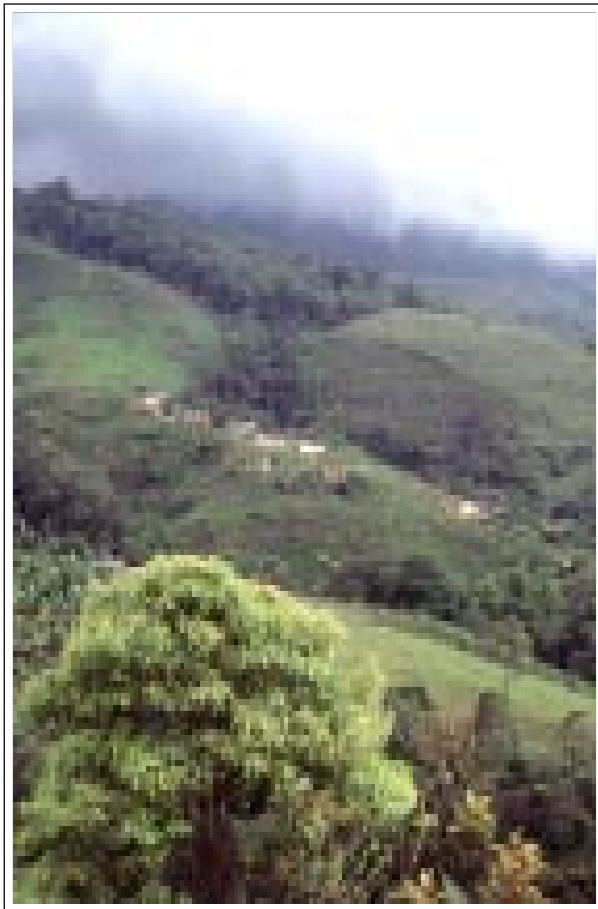


Foto 3. Paisaje típico del departamento del Cauca, donde es común el cultivo de la yuca.

53,500 t de raíces frescas. Esta producción representa el 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 productoras de yuca 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 M Bra 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 (ver *Cianógenos*).

Productores y procesadores. Se estima que el 97% de los productores 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 rallanderos (107 del total) son también productores de yuca; el área cultivada por ellos representa sólo el 8% del área plantada con yuca en ese departamento. La Figura 4 presenta los departamentos de la región centro-occidental de Colombia que procesan almidón agrio de yuca.

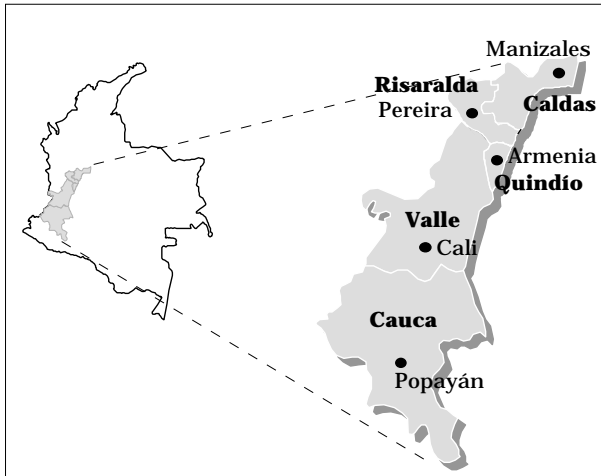


Figura 4. Departamentos de la región centro-occidental de Colombia donde se procesa el almidón agrio de yuca.

Producción y beneficio de la yuca. De la producción total del departamento, el 3.6% se destina al consumo directo o a la alimentación animal dentro de la finca. Del 96.4% restante, que es oferta comerciable, el 90% se emplea en la agroindustria del almidón fermentado (agrio) y el 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 el 70% y el 80% de la producción 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 de yuca, 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 y se encuentra en fuentes tan diversas como los cereales (maíz, trigo, cebada, arroz), la papa, la yuca (Foto 4) 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.

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 de 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 5. 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.

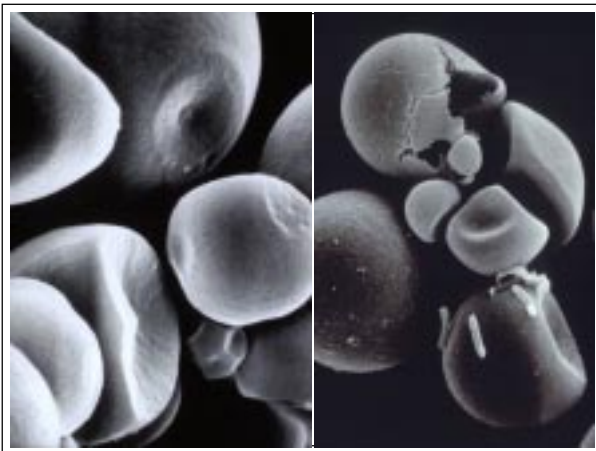


Foto 4. Gránulos de almidón natural (o nativo) de yuca vistos con el microscopio electrónico. En los del almidón fermentado o agrio (derecha) se ve la acción erosiva de la bacteria amilolítica.

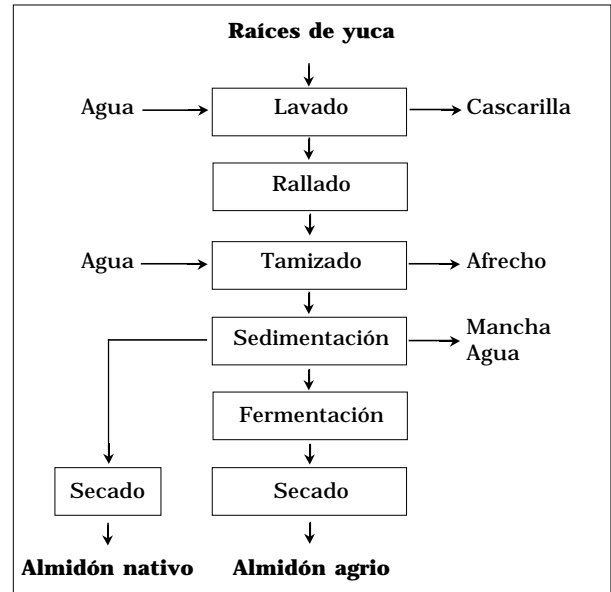


Figura 5. Diagrama del proceso general de extracción de almidón de yuca (nativo y agrio).

La tecnología empleada en ellas, que se describe en el resto de este manual, 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 6) para aprovechar la energía derivada del gradiente de gravedad que allí se genera.

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).

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 rallanderías) se hace también con los pies (Figura 7). La cascarilla se desprende por la fricción de unas raíces con otras durante el

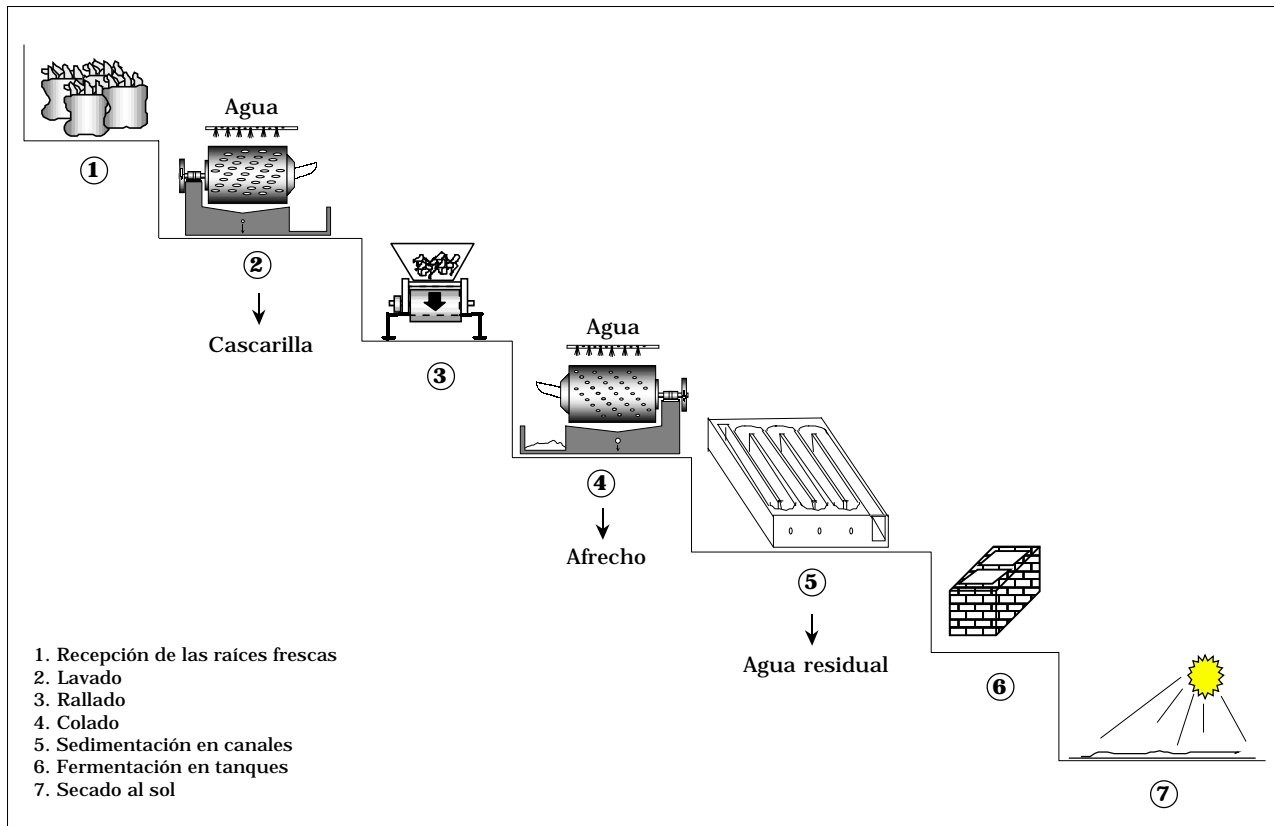


Figura 6. Distribución esquemática de las operaciones de producción de almidón de yuca en una rallandería diseñada aprovechando el gradiente de gravedad que ofrece la topografía del terreno.

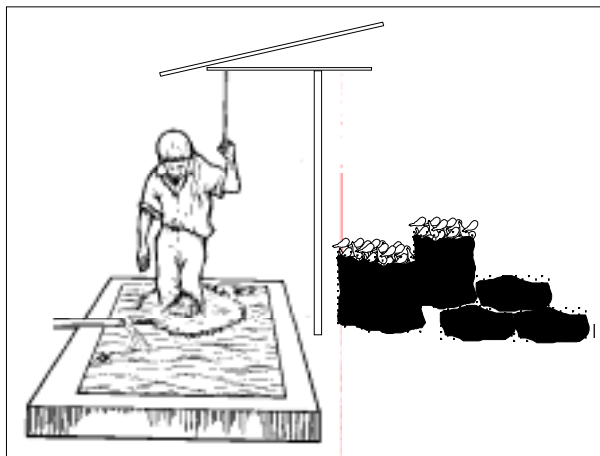


Figura 7. En algunas rallanderías, las raíces de yuca se “pelan” con los pies en el lavado: la fricción las despoja de la cascarilla o corteza externa.

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 antes mencionadas, 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, donde las raíces de yuca reciben chorros de agua mientras se friccionan unas con otras y contra la lámina del tambor.

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 piletta que recibe el agua y las impurezas.

El cilindro (Figura 8) está formado por una lámina de hierro galvanizado que tiene agujeros

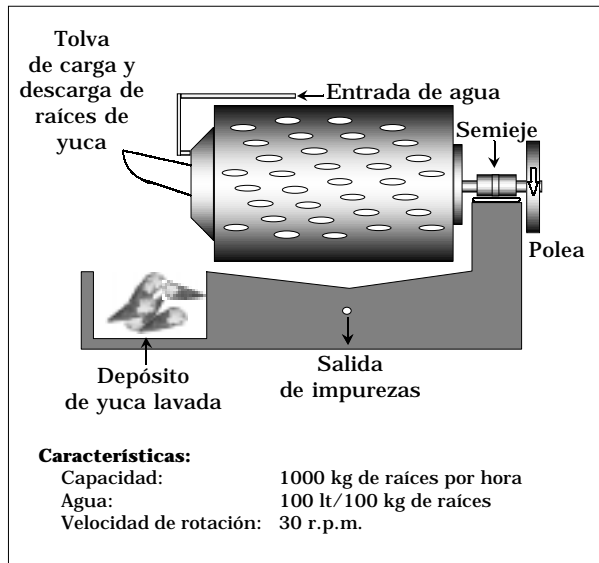


Figura 8. Lavadora/peladora de raíces de yuca, de cuerpo cilíndrico (tambor) y semieje, para carga lateral.

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.

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 9).

Las paredes del cilindro son de lámina galvanizada y tiene 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.

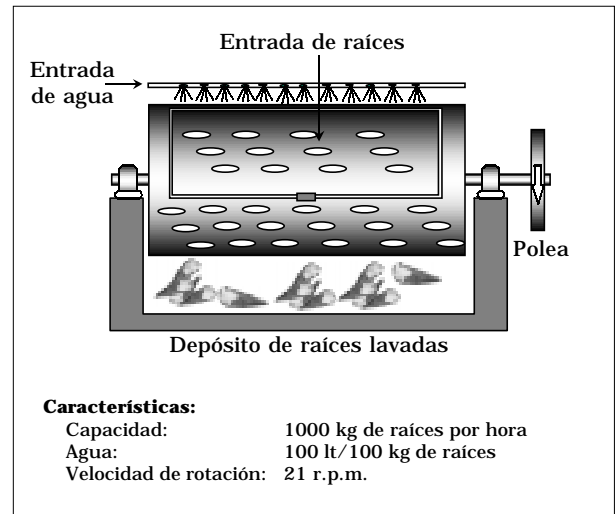


Figura 9. Lavadora/peladora de raíces de yuca, de cuerpo cilíndrico (tambor) y eje central, para carga frontal.

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 10). En algunas máquinas de este modelo, el agua se suministra a través del eje central que estará, por tanto, perforado.

Capacidad de las lavadoras/peladoras

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.

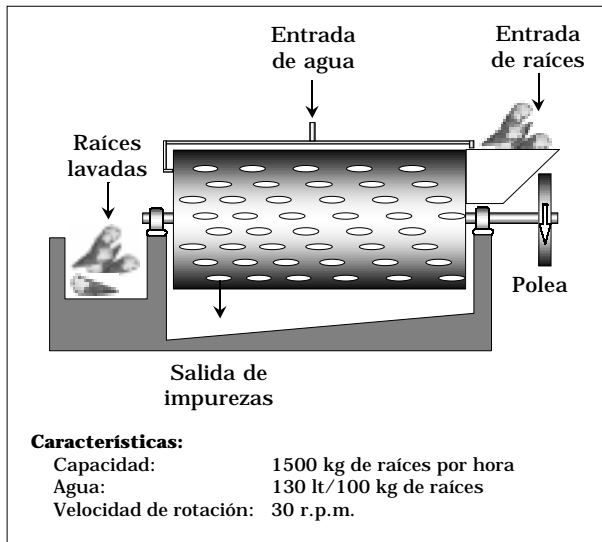


Figura 10. Lavadora/peladora de raíces de yuca, de cuerpo cilíndrico (tambor) y eje central, de acción semicontinua.

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. 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 manualmente con un clavo (o con punzón) en toda su área. Se hacen, generalmente, una o dos perforaciones por cm².

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 11).

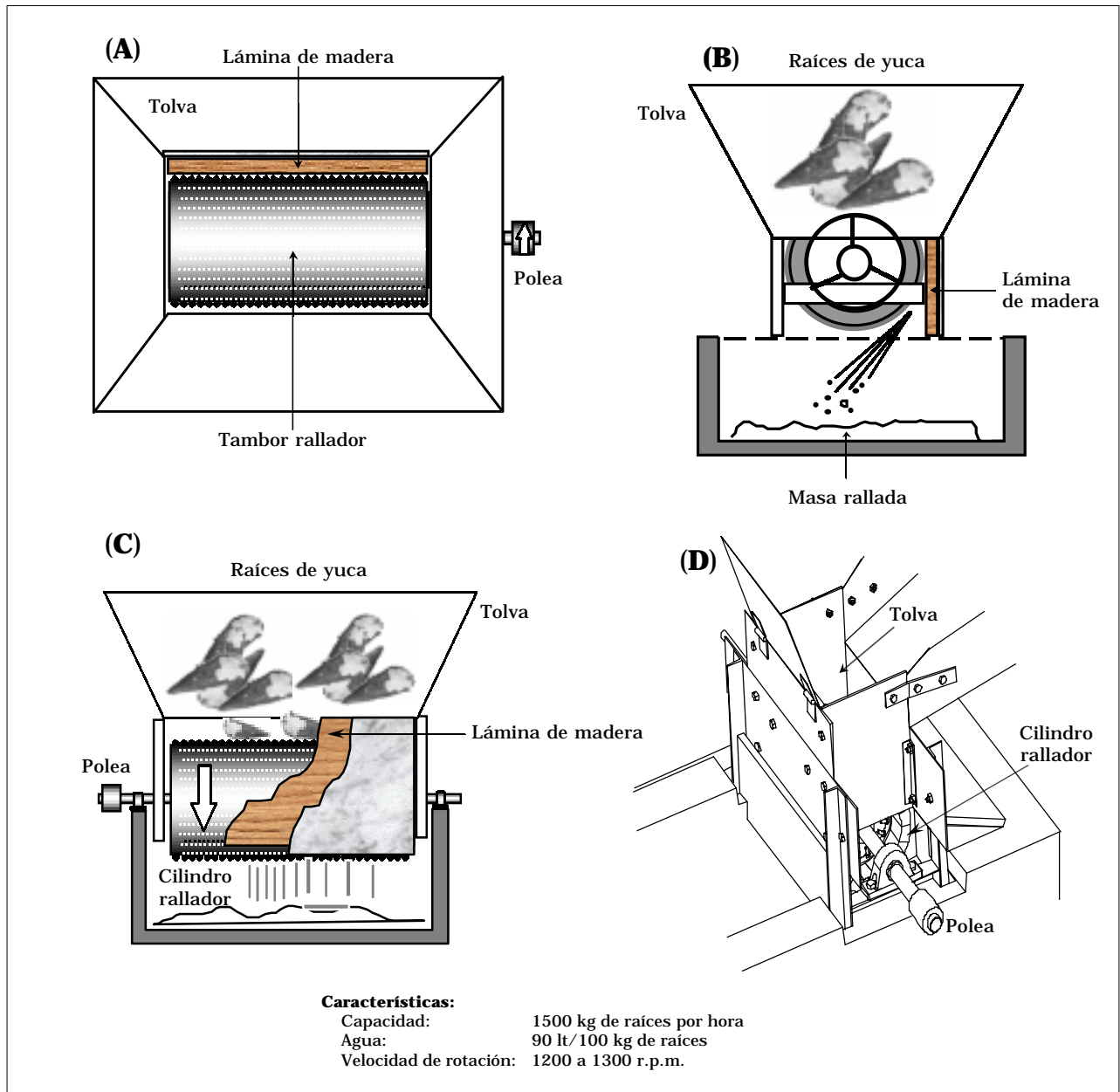


Figura 11. Rallador tradicional de raíces de yuca en que la superficie externa del cilindro es una lámina perforada. (A) Vista superior. (B) Vista lateral. (C) Vista frontal. (D) Dibujo técnico de una máquina ralladora.

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 9) 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 (ver p. 12).

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 12).

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).



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

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 10). 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 13).

Dentro del cilindro hay aspas 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.

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 14). El cilindro gira en sentido contrario al giro de los rodamientos. Por lo demás, este modelo es igual o muy similar al anterior.

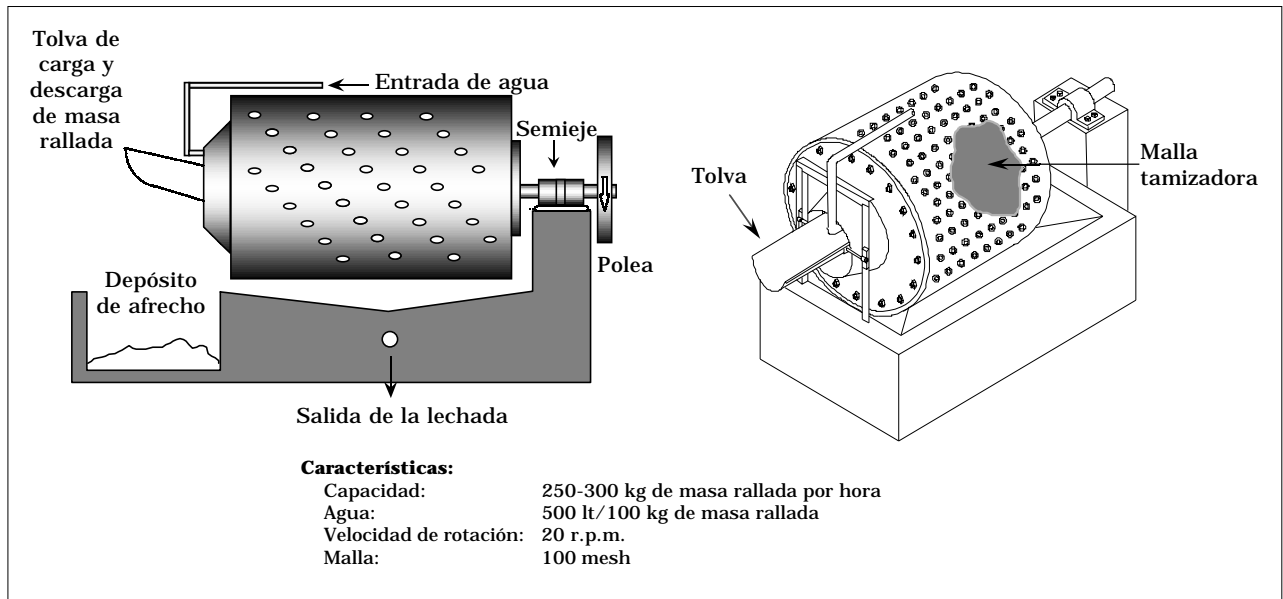


Figura 13. Coladora mecánica discontinua de cilindro y semieje para colar o tamizar la masa de yuca rallada.

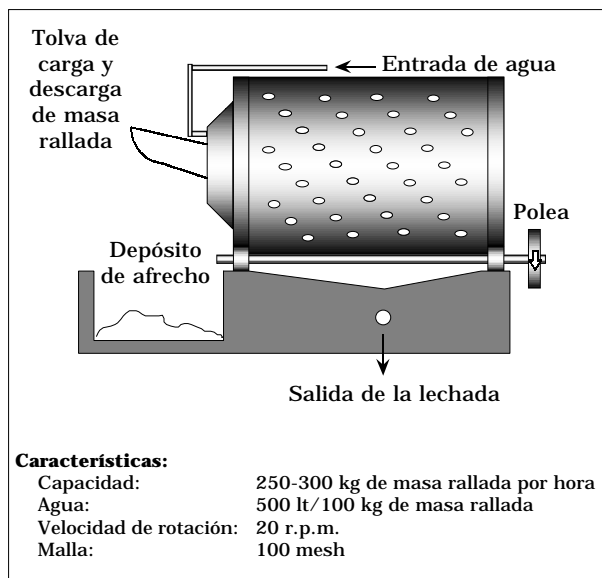


Figura 14. Coladora mecánica de cilindro soportada sobre cuatro rodamientos.

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, el afrecho 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 almidón un 60%-70% y a fibra un 12%-14%. Estos valores se relacionan, por ejemplo, con los obtenidos en el balance de masas de la Figura 16 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 (p. 7).

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. Estos tanques 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 16) 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 un 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 11).

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 (Foto 5). Estos sistemas pueden diseñarse de manera que se adapten a la topografía del terreno (ver Apéndice 1).

A la entrada de los canales debe haber 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 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 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



Foto 5. Sistema de siete canales para la sedimentación del almidón a partir de la lechada de yuca.

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 50,000 litros, aproximadamente.

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 (p. 7).

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.

El almidón se compacta en el fondo de los tanques o canales y es transportado 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 agrío o fermentado, que se usa en 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 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 agrío 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 15).

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 13). En zonas de clima ardiente, es recomendable enterrar los tanques de fermentación.

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

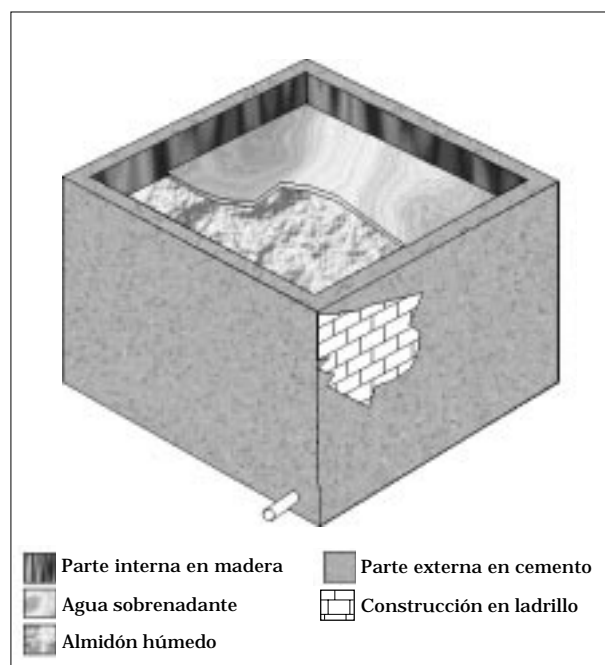


Figura 15. Tanque de fermentación del almidón agrío de yuca.

Un control de la fermentación es el pH, aunque nadie lo practica en las rallanderías. Al final de este proceso, el pH debe estar 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, se desmenuza 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 (Foto 6)



Foto 6. Sistema de secado del almidón agrio de yuca en algunas rallanderías del departamento del Cauca.

(instaladas en los techos de las rallanderías) o sobre el piso de éstas (ver Apéndice 1, Foto 13).

La operación de secado del almidón necesita, aproximadamente, 6 horas de sol en Colombia. El almidón se remueve suavemente dos o tres 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 de un tratamiento, es decir, de 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).

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

Comercialización

El almidón agrio y el almidón nativo (dulce) son comercializados principalmente a través de intermediarios; en el departamento del 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 rallanderos del departamento del Cauca (ver p. 7), 35 venden su almidón directamente a las panaderías, 8 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 departamento (Pereira, Ibagué, Medellín, Cartagena, Armenia y Montería), y en Santafé de Bogotá. Hay también otros mercados terminales.

Rendimiento

La Figura 16 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, Colombia. El diagrama contiene un balance del almidón que dan 1000 kg de yuca fresca de la variedad M Ven 25.

Calidad del Almidón Agrio

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

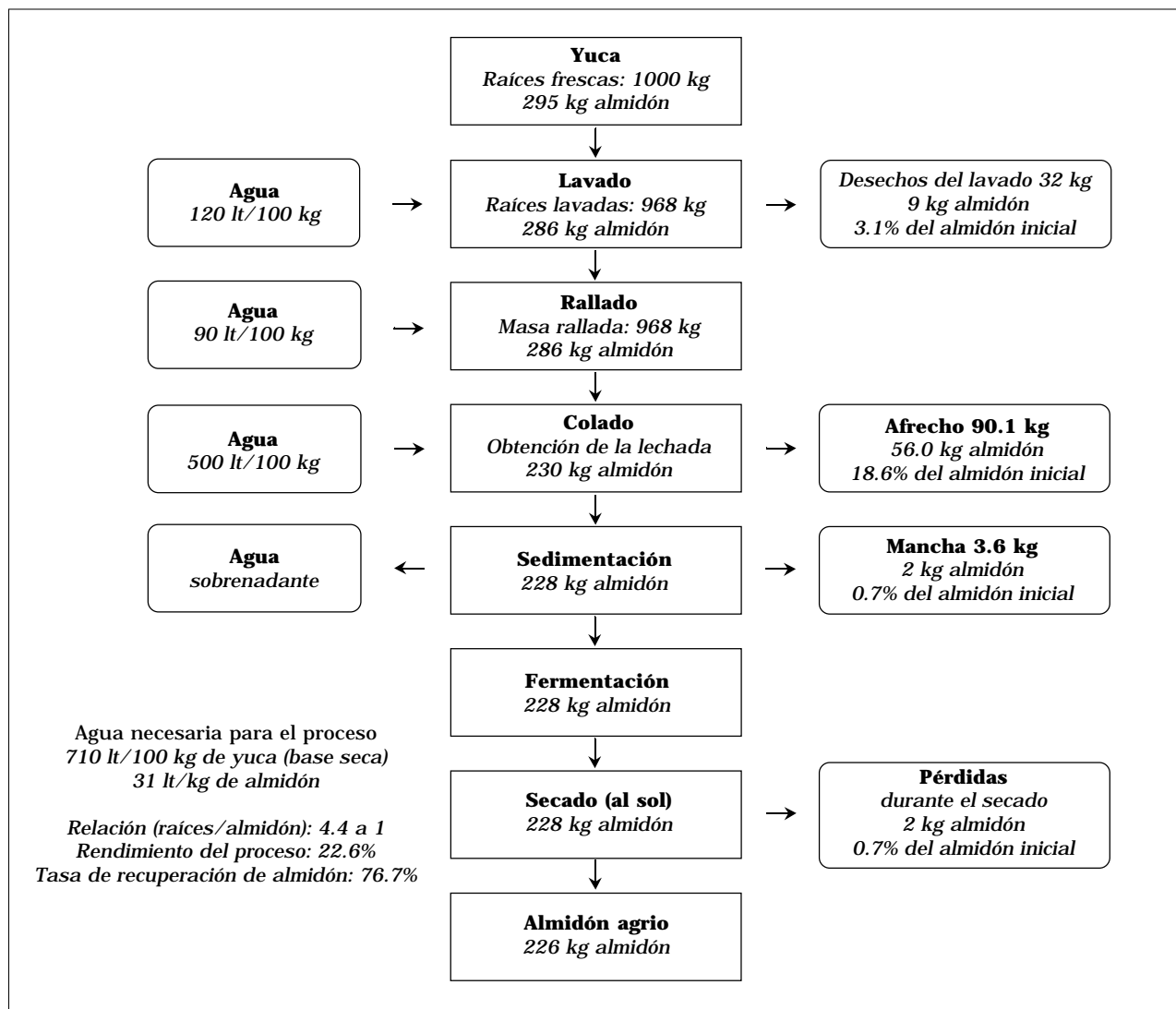


Figura 16. Diagrama de flujo del proceso de obtención de almidón agrio de yuca (variedad M Ven 25 con 35% de M.S.) en la rallandería La Agustina, en el departamento del Cauca, Colombia, y balance del rendimiento de almidón. El almidón inicial, en este ejemplo, está representado en los 295 kg contenidos en los 1000 kg iniciales de yuca fresca; de este contenido se recuperan 226 kg de almidón agrio, o sea, 76.7%.

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 aún 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.

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).

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. Estas plantas procesadoras corresponden al tipo 1 antes descrito, 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 10, 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 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 (ver Figura 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 desciende 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. Ese motor debe tener de 8 a 12 HP.
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 tradicional 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 de tipo 2 antes mencionadas; 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 17 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 17.

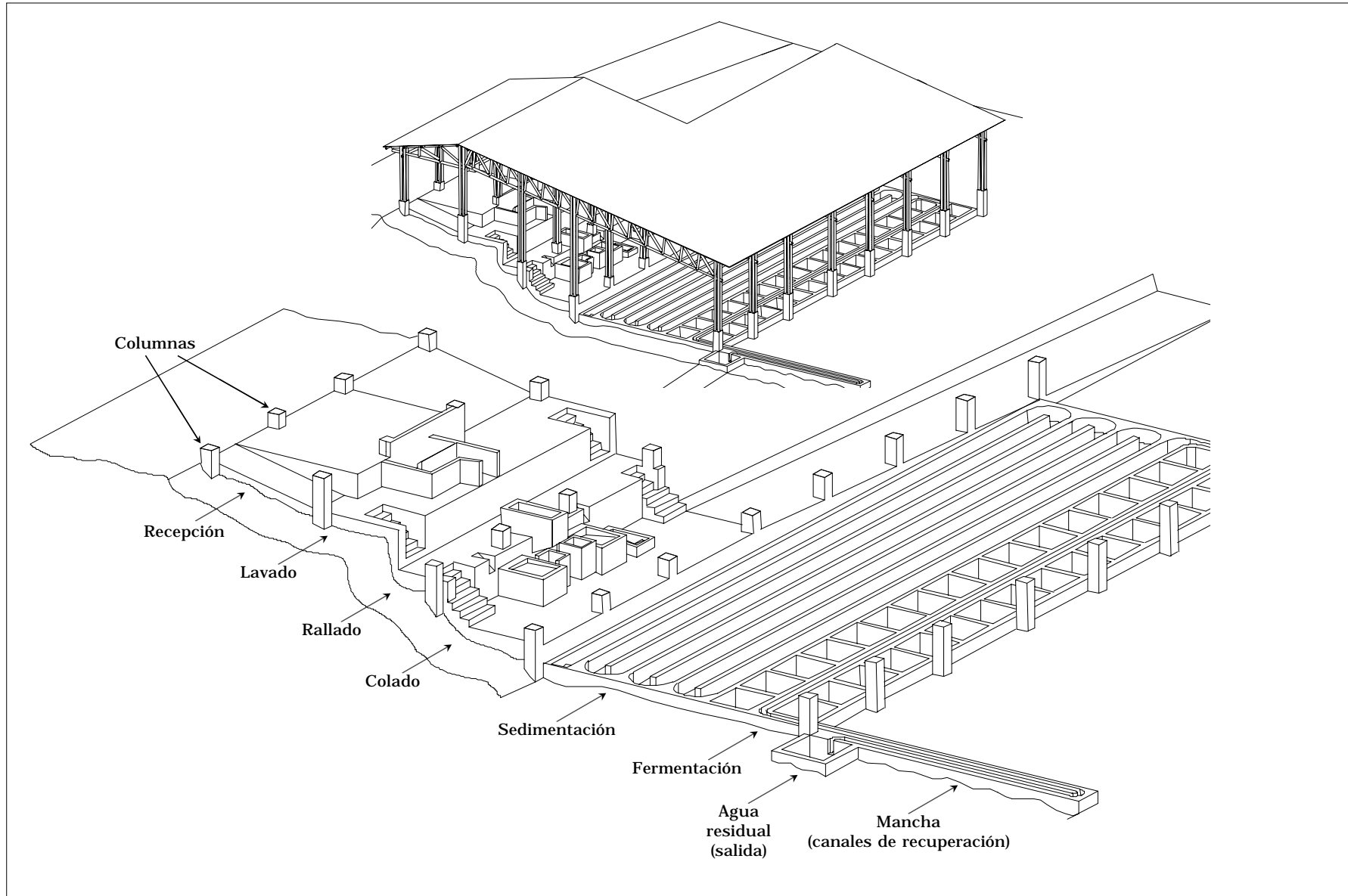


Figura 17. Plano descriptivo de una rallandería ideal, bien establecida, que ilustra gráficamente el proceso de obtención de almidón agrio de yuca. La planta ya techada se muestra arriba, en esta figura. Parte de este diseño se aplica actualmente en algunas rallanderías del departamento del Cauca (por ejemplo, Totoyuca, de CETEC, en Siberia, municipio de Caldo).

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	20	5.5 : 1
Mejorada	30	5.0 : 1
Nueva	50	4.5 : 1

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



Foto 7. Depósito de aguas residuales de varias rallanderías.

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.

El agua que sale de los canales de sedimentación suele verterse en *depósitos* (Foto 7), 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 del 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 6). 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.

Referencias

Para facilitar la lectura de las referencias, se identifican primero los principales acrónimos:

CIAT	= Centro Internacional de Agricultura Tropical
CIRAD-AMIS	= Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement – Département d'amélioration des méthodes pour l'innovation scientifique, Francia
CECORA	= Central de Cooperativas de la Reforma Agraria Ltda., Colombia
CETEC	= Corporación para Estudios Interdisciplinarios y Asesorías Técnicas, Colombia
CIRAD-SAR	= Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement – Département des systèmes agroalimentaires et ruraux (actualmente, CIRAD-AMIS)
CORPOTUNIA	= Corporación para el Desarrollo de Tunía
FAO	= Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia
ICA	= Instituto Colombiano Agropecuario
INIAP	= Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Ecuador
ORSTOM	= Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération, Francia
PNUD	= Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
UNIVALLE	= Universidad del Valle, Colombia

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, 26-28 de 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, 26-28 de 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.

Balagopalan, C.; Padmaja, G.; Nanda, S. K.; y Moorthy, S. N. 1988. Cassava in food, feed and industry. CRC Press, Boca Ratón, FL, E. U. 205 p.

Brabet, C.; Chuzel, G.; Dufour, D.; Raimbault, M.; y Giraud, J. 1996. Improving cassava sour starch quality in Colombia. En: Dufour, D.; O'Brien, G. M.; y Best, R. (eds.). Cassava flour and starch: Progress in research and development. CIRAD-SAR y CIAT, Cali, Colombia. p. 241-246.

Buitrago, J. A. 1990. La yuca en la alimentación animal. CIAT, Cali, Colombia. 450 p.

CECORA. 1988. Diagnóstico socioeconómico del Cauca. Santafé de Bogotá, Colombia. 150 p.

Chacón, M. P. y 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. y 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.; y Alarcón M., F. 1995a. Amélioration d'un système d'extraction par voie humide d'amidon de manioc. En: Agbor-Egbe, T.; Braumann, A.; Griffon, D.; y Trèche, S. (eds.). Transformation alimentaire du manioc (Cassava food processing). ORSTOM, Paris. p. 637-647.

Chuzel, G.; Pérez, D.; Dufour, D.; y Griffon, D. 1995b. Amélioration technologique des équipements d'extraction d'amidon de manioc en Colombie. En: Agbor-Egbe, T.; Braumann, A.; Griffon, D.; y Trèche, S. (eds.). Transformation alimentaire du manioc (Cassava food processing). ORSTOM, Paris. p. 623-636.

CIAT. 1995a. La industria del almidón en el Departamento del Cauca, Colombia. CORPOTUNIA, CIRAD, CETEC, UNIVALLE, Fundación Carvajal y CIAT. Cali, Colombia. 16 p.

CIAT. 1996. Cassava: The latest facts about an ancient crop. Cali, Colombia. (Plegable.)

Cock, J. H. 1989. La yuca: Nuevo potencial para un cultivo tradicional. CIAT, Cali, Colombia. 240 p.

- Domínguez O., C. E. 1983. Yuca: Investigación, producción y utilización. CIAT y PNUD, Cali, Colombia. 660 p.
- Dufour, D.; Larssonneur, S.; Alarcón M., F.; Brabet, C.; y Chuzel, G. 1996. Improving the bread-making potential of cassava sour starch. En: Dufour, D.; O'Brien, G. M.; y Best, R. (eds.). Cassava flour and starch: Progress in research and development, CIRAD-SAR y CIAT, Cali, Colombia. p. 133-143.
- FAO Data Base. 1997. <http://www.fao.org>
- Gottret, M. V. 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, Santafé de Bogotá. CIAT, Cali, Colombia. 15 p.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 1993. Cauca: Características geográficas. Santafé de Bogotá, Colombia.
- Jones, S. F. 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, G. M.; y 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. ICA, Santafé de Bogotá, Colombia. 90 p.
- Wheatley, C. C. 1991. Calidad de las raíces de yuca y factores que intervienen en ella. En: Hershey, C. H. (ed.). Mejoramiento genético de la yuca en América Latina. CIAT, Cali, Colombia. p. 267-291.
- Zakhia, N.; Dufour, D.; Chuzel, G.; y Griffon, D. 1996. Review of sour cassava starch production in rural Colombian areas. Trop. Sci. 36:247-255.

Literatura Gris

- 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. CIAT, Cali, Colombia. 6 p. (Multicopiado.)
- Alarcón M., F. 1993b. Documento de asesoría técnica para la zona del Patía, Colombia. CIAT, Cali, Colombia. 7 p. (Multicopiado.)
- CIAT. 1995b. Resultados de la visita a las rallanderías del Cauca. Cali, Colombia. 12 p. (Multicopiado.)
- Figueroa, C. 1991. Fermentación del almidón de yuca. (Tesis). Facultad de Biología, Universidad del Valle, Cali, Colombia. 100 p.

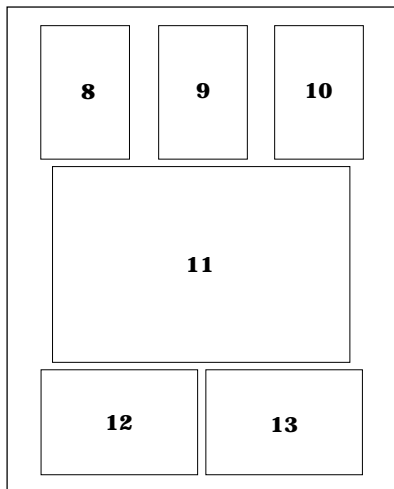
Apéndice 1

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.

Sistema Tradicional (tipo 1)

El plano identifica las fotos de la página 28. La numeración de las leyendas de las fotos (abajo) corresponde a los números del plano.

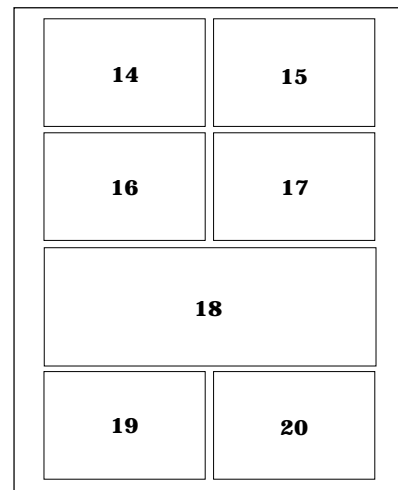


- Foto 8. Lavado de las raíces de yuca con los pies.
- Foto 9. Rallado de las raíces lavadas.
- Foto 10. Colado continuo de la masa rallada empleando un tornillo sinfin.
- Foto 11. Almidón sedimentado en tanques (el operario “desmancha” una capa).
- Foto 12. Fermentación del almidón húmedo en tanques.
- Foto 13. Secado al sol del almidón fermentado.

Sistema Mecanizado (tipos 2 y 3)

El plano identifica las fotos de la página 29. La numeración de las leyendas de las fotos (abajo) corresponde a los números del plano.

S. T. = Sistema tradicional.



- Foto 14. La yuca llega en sacos a la rallandería.
- Foto 15. Lavado mecánico semicontinuo de las raíces (ver S. T. en Foto 8).
- Foto 16. Rallado de las raíces lavadas (ver S. T. en Foto 9).
- Foto 17. Colado de la masa rallada (ver S. T. en Foto 10).
- Foto 18. Canales para sedimentar el almidón (ver S. T. en Foto 11).
- Foto 19. Fermentación del almidón húmedo en tanques (ver S. T. en Foto 12).
- Foto 20. Secado al sol del almidón fermentado (ver S. T. en Foto 13).



Apéndice 1



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 (Foto 21).

- 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.
- 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



Foto 21. Productos de la industria alimenticia de Colombia elaborados con almidón agrio de yuca. La bandeja señalada con la flecha ha sido ampliada (foto izquierda) para apreciar tres productos típicos de Colombia: pandebono, pandeyuca y panecillos.

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 papelería 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 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 el 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

A. 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 siguiente cuadro (valores a septiembre de 1998):

Item	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.

B. Costos de Operación

En una rallandería dotada con el equipo descrito en el cuadro anterior, se emplea generalmente el 80% de su capacidad y se obtiene una producción de 250 t de almidón

agrícola por año. El costo de la *operación* se calcula, sin embargo, respecto a la capacidad básica (30 t/mes, ver A.). Las cifras están en dólares americanos (1US\$ = Col\$1450, a septiembre de 1998).

- Costo de obtención de 1 t de almidón seco:

Costos fijos

Administración (US\$351.00/mes)	US\$11.75
Mantenimiento planta	3.55
Depreciación (por unidad producida, ver abajo)	<u>1.70</u>
Subtotal	16.80

Costos variables

Mano de obra (3 jornales, US\$5.53/jornal)	16.60
Energía eléctrica (2 kW/hora, US\$0.20/kW)	0.40
Agua (corrientes naturales, sin costo)	—
Empaques (20, US\$0.35/unidad)	7.00
Gastos varios	7.00
Fletes	<u>17.20</u>
Subtotal	48.20

Total (costo operación/t) US\$65.00

- Costo de obtención de 30 t (1 mes de operación):

$$\text{US\$65.00/t} \times 30 \text{ t/mes} = \text{US\$1950.00 por mes}$$

- Depreciación por año:

Vida útil de equipo y maquinaria	≅ 10 años
Valor de salvamento (chatarra)	≅ US\$300.00
Producción en vida útil	≅ 250 t/año x 10 años = 2500 t
Período contable	= 1 año

Aplicando la fórmula:

$$\text{Dep./t} = \frac{\text{US\$4500} - \text{US\$300}}{2500 \text{ t}} \cong \text{US\$1.70 por tonelada producida}$$

$$\text{Dep./mes} = \text{US\$1.70} \times 30 \text{ t} \cong \text{US\$51.00 por mes trabajado}$$

$$\text{Dep./año} = \text{US\$1.70} \times 250 \text{ t} \cong \text{US\$420.00 por año de operación}$$

C. 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).

- **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)	<u>9.60</u>
1 t de afrecho = US\$48.30	
1 t de mancha = US\$96.60	
Precio del producto total	859.00

- **Costos variables**

Materia prima (5 t)	345.00
(Costo de raíces necesarias para producir 1 t de almidón)	
Mano de obra, energía y varios (ver p. 34)	<u>48.00</u>
Costos variables totales	US\$393.00

- **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:

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

Publicación CIAT No. 268

**Proyecto SN-1, Desarrollo de Agroempresas Rurales
y
Unidad de Comunicaciones**

Edición: Francisco Motta
Gladys Rodríguez (asistente editorial)

Producción: Artes Gráficas, CIAT
Oscar Idárraga (diagramación)
Julio César Martínez (diseño de carátula)

Impresión: Feriva S.A.
