

## **CIAT**

La misión del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) es reducir el hambre y la pobreza en los trópicos mediante una investigación colaborativa que mejore la productividad agrícola y el manejo de los recursos naturales.

El CIAT es uno de los 16 centros internacionales de investigación agropecuaria, conocidos ya como los Centros de la Cosecha del Futuro, que son auspiciados por el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (GCIAI).

El trabajo del CIAT es financiado por un gran número de países, organizaciones para el desarrollo regional e internacional y fundaciones privadas. En el 2001, los siguientes países son donantes del CIAT: Alemania, Australia, Bélgica, Brasil, Canadá, Colombia, Dinamarca, España, Estados Unidos de América, Francia, Holanda, Italia, Japón, México, Noruega, Nueva Zelanda, Perú, Reino Unido, Sudáfrica, Suecia, Suiza y Tailandia. Entre las entidades donantes están el Banco Asiático de Desarrollo (ADB), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Banco Mundial, el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID), el Fondo Internacional para el Desarrollo Agrícola (IFAD), la Fundación Ford, la Fundación Kellogg, la Fundación Nippon, la Fundación Rockefeller, la Fundación Wallace, y la Unión Europea (UE).

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

La mission du Centre International d'Agriculture Tropicale (CIAT) est de réduire la faim et la pauvreté dans les régions tropicales au moyen d'une recherche en coopération qui peut améliorer la productivité agricole et l'usage des ressources naturelles.

Le CIAT fait partie d'un système de 16 centres internationaux de recherche agricole, connus maintenant comme Centres de la Récolte Future, qui sont patronnés par le Groupe Consultatif pour la Recherche Agricole Internationale (GCRAI).

Le travail du CIAT est financé par un grand nombre de gouvernements des nations, d'organisations pour le développement régional et international et de fondations privées. En 2001, les pays donateurs du CIAT sont l'Afrique du Sud, l'Allemagne, l'Australie, la Belgique, le Brésil, le Canada, la Colombie, le Danemark, les Etats Unis d'Amérique, la France, l'Italie, le Japon, le Mexique, la Norvège, la Nouvelle Zélande, les Pays-Bas, le Pérou, le Royaume-Uni, la Espagne, la Suède, la Suisse et la Thaïlande. Les organisations donatrices comprennent la Banque Asiatique de Développement, la Banque Interaméricaine de Développement (BID), la Banque Mondiale, le Centre de Recherches pour le Développement International (CRDI), le Fond International pour le Développement Agricole (IFAD, son sigle en anglais), la Fondation Ford, la Fondation Kellogg, la Fondation Nippon, la Fondation Rockefeller, la Fondation Wallace et l'Union Européenne (UE).

L'information et les conclusions contenues dans ce document ne reflètent pas nécessairement la position des donateurs mentionnés ci-dessus.

The mission of the International Center for Tropical Agriculture (CIAT, its Spanish acronym) is to reduce hunger and poverty in the tropics through collaborative research that improves agricultural productivity and natural resource management.

CIAT is one of 16 international agricultural research centers, known as the Future Harvest centers, supported by the Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR).

The Center's work is financed by a great number of countries, international and regional development organizations, and private foundations. In 2001, donor countries include Australia, Belgium, Brazil, Canada, Colombia, Denmark, France, Germany, Italy, Japan, Mexico, the Netherlands, New Zealand, Norway, Peru, South Africa, Spain, Sweden, Switzerland, Thailand, the United Kingdom, and the United States of America. Donor organizations include the Asian Development Bank (ADB), the European Union (EU), the Ford Foundation, the Inter-American Development Bank (IDB), the International Development Research Centre (IDRC), the International Fund for Agricultural Development (IFAD), the Kellogg Foundation, the Nippon Foundation, the Rockefeller Foundation, the Wallace Foundation, and the World Bank.

Information and conclusions reported in this document do not necessarily reflect the position of any donor agency.

## **CIRAD**

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 subtropicos. 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.

El 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-TERA (territorios, medio ambiente y usuarios), y CIRAD-AMIS (mejoramiento de los métodos que propician la innovación científica). El CIRAD emplea, para realizar su trabajo, sus propios centros de investigación, los sistemas nacionales de investigación agropecuaria o los proyectos de desarrollo.

Le CIRAD, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, est un organisme scientifique spécialisé en agriculture des régions tropicales et subtropicales. Sous la forme d'un établissement public, il est né en 1984 de la fusion d'instituts de recherche en sciences agronomiques, vétérinaires, forestières et agroalimentaires des régions chaudes. Sa mission: contribuer au développement de ces régions par des recherches, des réalisations expérimentales, la formation, l'information scientifique et technique.

Il emploie 1800 personnes, dont 900 cadres, qui interviennent dans une cinquantaine de pays. Son budget s'élève à 1 milliard de francs, dont plus de la moitié provient de fonds publics.

Le CIRAD comprend sept départements de recherche: cultures annuelles (CIRAD-CA); cultures pérennes (CIRAD-CP); productions fruitières et horticoles (CIRAD-FLHOR); élevage et médecine vétérinaire (CIRAD-EMVT); forêts (CIRAD-Forêt); territoires, environnement et acteurs (CIRAD-TERA); amélioration des méthodes pour l'innovation scientifique (CIRAD-AMIS). Le CIRAD travaille dans ses propres centres de recherche, au sein de structures nationales de recherche agronomique des pays partenaires, ou en appui à des opérations de développement.

The Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) is a French scientific organization specializing in development-oriented agricultural research for the tropics and subtropics. It is a state-owned body and it was established in 1984 following the consolidation of French agricultural, veterinary, forestry, and food technology research organizations for the tropics and subtropics.

CIRAD's mission is to contribute to the economic development of these regions through research, experiments, training, and dissemination of scientific and technical information. The Centre employs 1800 persons, including 900 senior staff, who work in more than 50 countries. Its budget amounts to approximately 1 billion French francs, more than half of which is derived from public funds.

CIRAD is made up of seven departments: CIRAD-CA (annual crops), CIRAD-CP (tree crops), CIRAD-FLHOR (fruit and horticultural crops), CIRAD-EMVT (animal production and veterinary medicine), CIRAD-Forêt (forestry), CIRAD-TERA (territories, environment and people), and CIRAD-AMIS (advanced methods for innovation in science). CIRAD operates through its own research centres, national agricultural research systems, or development projects.

ISBN 958-694-036-5

# **Almidón Agrio de Yuca en Colombia**

Tomo 2

Planta procesadora: Descripción y  
planos de los equipos

Michel Rivier  
Martín A. Moreno  
Freddy Alarcón  
Ricardo Ruiz  
Dominique Dufour

# **Amidon Aigre de Manioc en Colombie**

Tome 2

Unité de production: Description et  
plans des équipements



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



Universidad  
del Valle



CETEC  
Cooperación Para Estudios  
Interdisciplinarios y Asesoría Técnica

# **Cassava Sour Starch in Colombia**

Volume 2

Processing plant: Description, plans,  
and layout

Centro Internacional de Agricultura Tropical  
*International Center for Tropical Agriculture*  
Apartado Aéreo 6713  
Cali, Colombia

Fax: (57-2) 4450073  
E-mail: r.best@cgiar.org  
mamoreno@petecuy.univalle.edu.co  
dominique.dufour@cirad.fr

Publicación CIAT No. 323  
ISBN 958-694-036-5  
Tiraje: 750 ejemplares  
Impreso en Colombia  
Julio 2001

Rivier, Michel

Almidón agrio de yuca en Colombia = Amidon aigre de manioc en Colombie = Cassava sour starch in Colombia / Michel Rivier, Martín A. Moreno, Freddy Alarcón, Ricardo Ruiz, Dominique Dufour.

-- Cali, Colombia : Centro Internacional de Agricultura Tropical, 2001.  
251 p. -- (Publicación CIAT ; no. 323)  
ISBN 958-694-036-5

Contenido: v.2. Planta procesadora : descripción y planos de los equipos = Unité de production : description et plans des équipements = Processing plant : description, plans, and layout.

1. *Manihot esculenta*. 2. Almidón. 3. Industria almidonera. 4. Maquinaria industrial.  
5. Investigación participativa. 6. Transferencia de tecnología. 7. Colombia. 8. Yuca.  
I. Moreno, Martín A. II. Alarcón, Freddy. III. Ruiz, Ricardo. IV. Dufour, Dominique. V. Tit.

1. *Manihot esculenta*. 2. Starch. 3. Starch industry. 4. Industrial equipment.  
5. Participatory research. 6. Technology transfer. 7. Colombia. 8. Cassava.  
I. Moreno, Martín A. II. Alarcón, Freddy. III. Ruiz, Ricardo. IV. Dufour, Dominique. V. Title.

Categoría de materia AGRIS : N20 Maquinaria y equipo agrícola

Clasificación LC : SB 211 .C3 R5

Derechos de Autor CIAT 2002. Todos los derechos reservados

El CIAT propicia la amplia diseminación 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.

## **Dedicatoria**

Los autores desean asociar a esta obra a todas las personas que contribuyeron a ella con la recolección de información técnica, con el mejoramiento de los equipos o el desarrollo de iniciativas tecnológicas, y con la validación de las innovaciones directamente en las unidades de procesamiento. Vinculan también a la obra, muy especialmente, a los procesadores de almidón y a los mecánicos propietarios de los talleres locales en que se fabricaron los equipos, quienes permitieron que el proyecto se beneficiara con sus conocimientos, sus habilidades y su experiencia.

## **Dédicace**

Les auteurs souhaitent dédier cet ouvrage à tous ceux qui ont contribué à la collecte des informations techniques, à l'amélioration des équipements, au développement et aux validations technologiques des innovations dans les unités de transformation. Tout particulièrement, nous souhaitons dédier cet ouvrage aux producteurs d'amidon de manioc et aux constructeurs locaux qui ont mis à disposition du projet leurs connaissances, leur savoir-faire et leur expérience.

## **Dedication**

The authors wish to dedicate this work to all those who contributed to the collection of technical information, improvement of equipment, development and validation of technological innovations in the processing plants. In particular, we dedicate this work to the cassava-starch producers and the owners of the local machine workshops where equipment was made, and who all freely gave of their knowledge, abilities, and experience to the project.

## **Sobre los autores:**

### **About the authors:**

#### *Michel Rivier*

Ingenieur en Génie Mécanique et Automatique (Arts et Métiers de Toulouse), es investigador en CIRAD-AMIS, Programme agro-alimentaire, 73 rue Jean François Bréton, TA40/15, 34398 Montpellier Cédex 5, France.

E-mail: michel.rivier@cirad.fr

#### *Martín A. Moreno*

Ing. Agrícola (Universidad del Valle), M.Sc. en Maquinaria Agrícola (Cornell University, E.U.) y candidato a Doctorado en Ingeniería de Alimentos (Universidad Politécnica, Valencia, España), es investigador en la Universidad del Valle (UNIVALLE).

Agric. Eng. (Universidad del Valle), M.Sc. in Agricultural Machinery (Cornell University) and candidate for Doctorate (Universidad Politécnica, Valencia, España). Currently a researcher at the Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Apartado Aéreo 25360, Cali, Colombia.

E-mail: mamoreno@petecuy.univalle.edu.co

#### *Freddy Alarcón*

Es Tecnólogo Químico de Productos Vegetales y fue especialista en procesamiento de almidón de yuca en el proyecto Desarrollo de Agroempresas Rurales del CIAT. Actualmente trabaja en empresas productoras de almidón de yuca en América Central.

Chemical Technologist in Plant Derived Products, former expert in cassava starch processing at CIAT's Rural Agroenterprise Development Project. Currently working as consultant for cassava producing companies in Central America.

E-mail: r.best@cgiar.org

#### *Ricardo Ruiz*

Ing. Industrial (Universidad del Valle), es Asesor en el Area de Gestión Empresarial de la Corporación para Estudios Interdisciplinarios y Asesoría Técnica (CETEC), Cali, Colombia.

Ind. Eng. (Universidad del Valle), Adviser in Managerial Action at the Corporation for Interdisciplinary Studies and Technical Assistance (CETEC, in Spanish), in Cali, Colombia.

E-mail: cetec@andinet.com

#### *Dominique Dufour*

Doctorat en Génie Enzymotique, Bioconversion et Microbiologie (Université de Compiègne, Francia) y es investigador en CIRAD-AMIS, Programme agro-alimentaire, 73 rue Jean François Bréton, TA40/15, 34398 Montpellier Cédex 5, France. Anteriormente: CIAT, Projet Développement des agro-entreprises rurales, Cali, Colombia.

E-mail: dominique.dufour@cirad.fr

# Contenido

	Página
Agradecimientos	xi
Prefacio	3
Procesos y Equipos	5
Descripción General del Proceso	5
Descripción Funcional de una Rallandería	6
Pasos del proceso de extracción	6
Recepción de las raíces	6
Lavado de las raíces	6
Rallado de las raíces	7
Separación de la 'lechada de almidón'	7
Tamizado de la 'lechada de almidón'	8
Sedimentación	8
Fermentación	9
Secado	9
Aprovechamiento de la gravedad	9
Consumo de agua en la rallandería	9
Descripción Técnica de los Equipos de una Rallandería	10
Lavadora de raíces	10
Tolva para raíces	10
Arbol de transmisión	10
Cilindro de la lavadora	10
Compuerta de salida	10
Tanque de almacenamiento	10
Estructura civil	10
Suministro de agua	11
Rallo	11
Tolva	11
Chasis	11
Arbol de transmisión	11
Rotor	11
Carcaza	11
Estructura civil	11
Suministro de agua	12

	Página
Coladora	12
Transmisión	12
Cilindro de extracción	12
Cuchara principal	13
Estructura civil	13
Carcaza	13
Suministro de agua	13
Tamiz plano	13
Transmisión general de potencia	14
Canales de sedimentación	14
Tanques de fermentación	15
Molino quebrador de almidón	15
Chasis principal	15
Arbol de transmisión	15
Chasis secundario	15
Rotor	15
Tolva de alimentación	16
Lámina perforada	16
Motor eléctrico	16
Area de secado	16
Tanques de escurrimiento y de almacenamiento de subproductos	16
<b>Diseño y Fabricación de Máquinas y sus Componentes</b>	16
Recomendaciones para fabricación	17
Lavadora	17
Rallo	17
Coladora	17
Poleas	18
Máquinas instaladas	18
<b>Bibliografía</b>	53
<b>Glosario</b>	57
<b>Láminas (551 kb)</b>	63
<b>Planos</b>	79
<b>Vista general (69 kb)</b>	81
<b>Estructura civil (348 kb)</b>	85
<b>Lavadora-Peladora (773 kb)</b>	97
<b>Rallo (397 kb)</b>	127
<b>Coladora (1037 kb)</b>	151
<b>Tamiz (257 kb)</b>	199
<b>Transmisión (295 kb)</b>	215
<b>Molino (400 kb)</b>	231

# Table des Matières

	Page
Remerciements	xii
Avant Propos	21
Procédé et Équipements	23
Description Générale du Procédé	23
Description Fonctionnelle de l'Unité	25
Opérations du procédé	25
Réception des racines fraîches	25
Lavage-épluchage des racines	25
Râpage des racines	25
Extraction du "lait d'amidon"	25
Tamisage du "lait d'amidon"	25
Sédimentation	25
Fermentation	26
Séchage	26
Utilisation de la gravité	26
Consommation d'eau	26
Description Technique des Matériels et de l'Unité	26
Laveuse-éplucheuse de racines	26
Trémie d'admission	27
Arbre de transmission	27
Cylindre de lavage-épluchage	27
Trappe de sortie	27
Espace tampon de récupération	27
Génie civil	27
Alimentation en eau	27
Râpe	27
Goulotte d'admission	27
Châssis	27
Arbre de transmission	28
Rotor	28
Carters	28
Génie civil	28
Alimentation en eau	28



	Page
Extracteur de "lait d'amidon"	28
Transmission	28
Cylindre d'extraction	28
Goulotte	29
Génie civil	29
Carters	29
Alimentation en eau	29
Tamiseur plan	29
Transmission générale de puissance	30
Canaux de sédimentation	30
Tanks de fermentation	30
Broyeur	31
Châssis principal	31
Arbre de transmission	31
Châssis secondaire	31
Rotor	31
Trémie d'alimentation	31
Tôle perforée	31
Moteur électrique	31
Aire de séchage	31
Bacs d'égouttage et de stockage	31
<b>Conception et Réalisation des Matériels</b>	<b>32</b>
Recommandations pour la fabrication des machines	32
Laveuse-éplucheuse	32
Râpe	32
Extracteur de "lait d'amidon"	32
Poulies	33
Machines installées	33
<b>Bibliographie</b>	<b>53</b>
<b>Glossaire</b>	<b>57</b>
<b>Planches (551 kb)</b>	<b>63</b>
<b>Plans</b>	<b>79</b>
<b>Vue générale (69 kb)</b>	<b>81</b>
<b>Génie civil (348 kb)</b>	<b>85</b>
<b>Laveuse-Éplucheuse (773 kb)</b>	<b>97</b>
<b>Râpe (397 kb)</b>	<b>127</b>
<b>Extracteur (1037 kb)</b>	<b>151</b>
<b>Tamiseur (257 kb)</b>	<b>199</b>
<b>Transmission (295 kb)</b>	<b>215</b>
<b>Emoteur (400 kb)</b>	<b>231</b>

# Contents

	Page
Acknowledgments	xiii
Foreword	37
Process and Equipment	39
General Description of the Process	39
Functional Description of an Artisanal Starch-Extraction Plant	40
Steps in the extraction process	40
Reception of cassava roots	40
Root washing and peeling	40
Grating the roots	41
Separation of the “starch milk”	41
Screening the starch milk	42
Sedimentation	42
Fermentation	42
Drying	43
Using gravity	43
Water consumption	43
Technical Description of Equipment Used in an Artisanal Starch-Extraction Plant	43
Root-washing machine	43
Hopper	43
Transmission shaft	44
Drum	44
Exit hatch	44
Holding area	44
Supporting structure	44
Water supply	44
Grater	44
Hopper	44
Chassis	44
Transmission shaft	45
Rotor	45
Casing	45
Supporting framework	45
Water supply	45

	Page
Drum separator	45
Transmission shaft	45
Separator drum	46
Feed and discharge hopper	46
Supporting structure	46
Casing	47
Water supply	47
Reciprocating screen	47
Power transmission	47
Sedimentation channels	48
Fermentation tanks	48
Pulverizing mill for wet starch	48
Principal chassis	48
Transmission shaft	48
Secondary chassis	48
Rotor	49
Feed hopper	49
Perforated metal screen	49
Electric motor	49
Drying area	49
Tanks for drainage and byproduct storage	49
<a href="#">Designing and Manufacturing Equipment and Components</a>	49
Recommendations	50
Washing machine	50
Grater	50
Drum separator	50
Pulleys	51
Machine installation	51
<a href="#">Bibliography</a>	53
<a href="#">Glossary</a>	57
<a href="#">Plates (551 kb)</a>	63
Plans	79
<a href="#">General view (69 kb)</a>	81
<a href="#">Civil structure (348 kb)</a>	85
<a href="#">Washing and peeling machine (773 kb)</a>	97
<a href="#">Rasper (397 kb)</a>	127
<a href="#">Sifter (1037 kb)</a>	151
<a href="#">Sieve (257 kb)</a>	199
<a href="#">Transmission (295 kb)</a>	215
<a href="#">Crusher (400 kb)</a>	231

# Agradecimientos

Este libro no existiría sin la tenacidad de los coordinadores del proyecto, principalmente del Dr. Gérard Chuzel (su iniciador) y del Dr. Dominique Dufour. Ambos son investigadores del CIRAD, asignados al CIAT, en Colombia, durante 5 años para llevar a buen término la actividad aquí descrita, la cual hizo parte de un gran proyecto (ver el Prefacio) dedicado a la valorización de la yuca en América Latina.

La sección de Utilización de Yuca del antiguo Programa de Yuca del CIAT y el Proyecto Desarrollo de Agroempresas Rurales, ambos dirigidos por el Dr. Rupert Best, contribuyeron también enormemente a la buena ejecución de nuestro trabajo. Asimismo, la infraestructura del CIAT estuvo siempre a disposición de nuestros investigadores. Ricardo Ruiz, de la ONG CETEC, enriqueció el proyecto tecnológico aquí presentado con su extenso conocimiento del Cauca, y lo acompañó durante los 10 años de su duración propiciando una estrecha colaboración con los productores y procesadores de yuca de esa región.

Los numerosos trabajos de estudiantes que aparecen en la lista bibliográfica indican la

importancia que dio al proyecto el sector universitario, principalmente la Universidad del Valle (Prof. Adolfo León Gómez, Prof. Martín A. Moreno) y la Corporación Universitaria Autónoma de Occidente (Prof. Hebert Jaramillo), ambas de Cali. La participación activa de los estudiantes de ingeniería en el desarrollo de las iniciativas tecnológicas de nuestro trabajo, como parte de sus proyectos de grado, destaca la importancia de una estrategia que integra la educación, la investigación y el desarrollo para lograr la transferencia y la adopción de la tecnología en las microempresas del mundo en desarrollo. Estas empresas están aquí representadas por los pequeños productores de almidón agrio de yuca de Colombia.

En el laboratorio de Diseño de Equipos, del Programa Agroalimentario del CIRAD, en Montpellier, Francia, Michel Rivier y Jacques Brouat obtuvieron una representación computarizada de los planos de los diversos equipos que funcionan en las unidades procesadoras de Colombia.

## Remerciements

Ce second volume n'existerait pas sans la ténacité des coordinateurs du projet en particulier: Gérard Chuzel (initiateur du projet) et Dominique Dufour. Ces deux chercheurs du CIRAD ont été affectés l'un et l'autre pour 5 ans en Colombie au CIAT pour mener à bien cette activité, faisait partie d'un vaste projet concernant la valorisation du manioc en Amérique Latine.

L'ancienne "Section Utilisation" du Programme Manioc du CIAT, puis le "Projet de Développement des Agro-entreprises Rurales", tous deux dirigés par Rupert Best ont grandement contribué au bon déroulement de notre travail. L'infrastructure du CIAT a toujours été à la disposition des chercheurs. Ricardo Ruiz de l'ONG CETEC a su faire profiter de sa grande connaissance du Cauca et a accompagné ce projet technologique pendant les 10 ans de travaux, en étroite relation avec les producteurs et transformateurs de manioc de cette région.

Les nombreux travaux d'étudiants, qui sont donnés dans la liste bibliographique, montrent l'implication du secteur universitaire, principalement l'Université del Valle (Prof Adolfo León Gómez, Prof Martín A. Moreno) et l'Université Autonome d'Occident (Prof Hebert Jaramillo) à Cali. Dans le cadre de leur mémoire de fin d'ingénieur, la participation active des étudiants dans le développement technologique a pu montrer tout l'intérêt de coupler formation, recherche et développement dans l'objectif d'un transfert et d'une adoption de technologies par des micro ou petites entreprises en Pays du Sud, représentées ici par les producteurs d'amidon aigre de Colombie.

Le laboratoire "Conception d'équipements" du programme agroalimentaire du CIRAD à Montpellier, France (Michel Rivier et Jacques Brouat) a assuré le relevé des plans des divers équipements en Colombie et leur saisie sous forme informatisée.

## Acknowledgments

This second volume would not have existed but for the perseverance of the project's coordinators, namely, Gérard Chuzel (its initiator) and Dominique Dufour. Both are CIRAD researchers who were assigned to CIAT, Colombia, for 5 years to complete the project described, itself part of a larger project on the status of cassava in Latin America.

The former Utilization Section of CIAT's Cassava Program and subsequently the Rural Agroenterprise Development Project, both led by Rupert Best, contributed significantly to the successful execution of our work. CIAT's infrastructure was always at our researchers' disposal. Over its 10-year duration, the project was able to benefit from Ricardo Ruiz's (of the NGO CETEC) extensive knowledge of Cauca. He also facilitated close collaboration with cassava farmers and processors of that region.

As indicated by the bibliography, engineering students of the Universidad del

Valle (led by Professors Adolfo León Gómez and Martín A. Moreno) and the Corporación Universitaria Autónoma de Occidente (led by Professor Hebert Jaramillo), both located in Cali, actively participated in technology development. Their research, carried out as part of their degree projects, illustrates the value of a strategy that integrates education, research, and development to transfer and promote the adoption of technologies that benefit a developing country's agroenterprises, as represented here by the artisanal cassava sour-starch processors of Colombia.

We acknowledge Michel Rivier and Jacques Brouat, both of the Creative Design of Equipment Unit of CIRAD's Food and Agriculture Program, Montpellier, France, who undertook the final design of the plans of equipment that function in Colombian processing plants.

# **Almidón Agrícola de Yuca en Colombia**

Tomo 2

Planta procesadora: Descripción y  
planos de los equipos

## Prefacio

La producción de almidón es una opción tradicional que valoriza la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en América Latina, particularmente en Brasil, Colombia, Ecuador y Paraguay. Esta actividad se realiza en pequeñas unidades artesanales que procesan entre 125 y 625 kg de raíces frescas por hora, y el almidón obtenido se utiliza principalmente en la preparación de alimentos tradicionales. En Brasil, además de las pequeñas unidades que producen básicamente almidón agrario de yuca, hay una considerable producción de almidón dulce a escala industrial, en fábricas cuya capacidad de procesamiento está entre 50 y 500 toneladas de raíces frescas por día.

La extracción de almidón de yuca a pequeña escala tiene un gran impacto social y económico en las zonas rurales porque permite valorizar la producción de yuca de los agricultores locales; crea, en efecto, un valor agregado a esa producción, y estabiliza la oferta y la demanda de mano de obra en una localidad o zona.

El norte del Cauca, en Colombia, ilustra bien la situación de esta agroindustria. Hay en esa región cerca de 200 empresas artesanales que producen, aproximadamente, 12,000 toneladas de almidón agrario de yuca por año para el mercado nacional. El procedimiento de extracción de almidón por vía húmeda que aplican estas empresas es similar en todas. La mecanización de todo el proceso de extracción se inició en la década del 60 y se extendió progresivamente para responder a una demanda creciente de productos tradicionales a base de yuca en los mercados urbanos. Los equipos de extracción evolucionaron muy poco desde entonces, salvo algunas mejoras introducidas por los mismos usuarios o por los fabricantes locales de maquinaria.

Diversos estudios socioeconómicos realizados entre 1988 y 1989 hicieron ver la necesidad de hacer investigación para mejorar las variedades de yuca y de hacer transferencia de tecnología, con el propósito de impulsar el trabajo de transformación de la yuca en la región considerada. Se estudiaron diferentes líneas de investigación y se les dio la siguiente

prioridad en relación con las acciones planeadas:

- Aumentar el rendimiento de las máquinas.
- Mejorar la calidad del almidón.
- Controlar las etapas de fermentación y secado.
- Optimizar la distribución de las diferentes operaciones unitarias en la planta productora.
- Reducir el consumo de agua en la planta y el derrame de efluentes en las corrientes de agua.
- Mejorar la seguridad y el bienestar de los operarios en el trabajo.
- Valorizar los subproductos y dar buen uso a los efluentes.

En 1988, el CIRAD y el CIAT iniciaron el proyecto denominado *Producción y Utilización de Almidón de Yuca en América Latina*, que se inscribe dentro del contexto mencionado. Durante su desarrollo se promovió la cooperación con otras instituciones, con el propósito de aprovechar la capacidad local complementaria y, al mismo tiempo, beneficiarse con las múltiples experiencias adquiridas en este campo en algunos países latinoamericanos. Se vincularon, por tanto, al proyecto la Universidad del Valle, la Corporación Universitaria Autónoma de Occidente de Cali, CETEC y COAPRACAUCA, en Colombia; EPN, FACE, FUNDAGRO y UATAPPY, en Ecuador; y CERAT-UNESP, en Brasil.

El trabajo se desarrolló en estrecha colaboración con los actores de la cadena de producción y se centró principalmente en algunas de las acciones antes mencionadas:

- optimización de los equipos existentes;
- desarrollo de nuevas técnicas;
- ergonomía y distribución de las máquinas en el interior de las unidades de producción; y



- aprovechamiento de la gravedad para optimizar los flujos de agua y de materia prima.

El factor 'costo del equipo o del proceso' fue siempre una limitante que se consideró continuamente durante todo el proyecto. El proyecto arrojó dos grandes avances tecnológicos que merecen ser resaltados:

- la utilización de canales de sedimentación;
- la distribución de los equipos aprovechando la inclinación del terreno.

Para el primero se obtuvo información en 30 unidades artesanales y para el segundo en 15, mediante una encuesta realizada en 1995.

El proyecto realizó también varias actividades de información:

- Con la intención de informar a los productores de la región de Cauca, en Colombia, sobre los resultados de los trabajos de investigación en que participaron esos productores, se organizaron diversas *reuniones de retroalimentación* de la información recibida por ellos durante todo el proyecto.
- En diciembre de 1995 se publicó una *obra de divulgación* dirigida a los productores de almidón.
- La demanda de tecnología de producción de almidón agrio de yuca que se manifestó luego en varios países de América Latina y de otros continentes motivó al CIAT y al CIRAD, de común acuerdo con los demás integrantes del proyecto, a publicar una *obra en dos tomos*, con la cual cumplían su misión de difusión de información y de transferencia de tecnología.

El primer tomo (*Almidón Agrio de Yuca en Colombia. Tomo 1: Producción y*

*Recomendaciones*) describe el contexto tecnológico y económico en que se obtiene dicho almidón en Cauca, Colombia, principalmente. El segundo tomo, que aquí se presenta, responde a las expectativas tecnológicas de los inversionistas y de los fabricantes de equipos. En él se describe una unidad modelo de producción, cuya capacidad máxima es de 625 kg de raíces frescas por hora, en sus principales aspectos: ingeniería civil, diagrama de flujo, distribución en la planta, acondicionamiento de equipos, potencia de los motores, características de los materiales, tratamiento de los efluentes y otros. El diseño general de esta unidad incorpora los adelantos más recientes del proceso de extracción, que se instalaron en una unidad piloto construida en Siberia (Cauca, Colombia) con el apoyo técnico y financiero de CETEC, una ONG del sector agroindustrial. En este tomo se entregan, además, los planos detallados de los equipos que se instalan en la unidad.

Los autores esperan que este segundo tomo de la obra contribuirá aún más, gracias a su carácter técnico, a la difusión de los resultados obtenidos en 10 años de trabajo, labor que se realizó en estrecha cooperación tanto con los empresarios que producían almidón de yuca en el Cauca como con instituciones de educación, de investigación y de apoyo al desarrollo. La labor de transferencia de tecnología que se publica en la obra fue realizada por el CIRAD y el CIAT (en Paraguay, Ecuador, Honduras, Nicaragua, Perú, Costa de Marfil, Benin, Guyana Francesa y Guadalupe) y por UNIVALLE y CETEC (en Colombia), y el éxito obtenido la convierte en un elemento esencial de la misma obra.

Se dispone, además, en esta obra, de un juego completo de planos para el montaje de un modelo óptimo de unidad procesadora de almidón de yuca. Este modelo contiene, por tanto, toda la experiencia adquirida en Colombia por el Proyecto de Evaluación de la Yuca desarrollado por el CIRAD.

Gérard Chuzel  
CIRAD

Rupert Best  
CIAT

Dany Griffon  
CIRAD

# Procesos y Equipos

## Descripción General del Proceso

El proceso de obtención del almidón agrio de yuca consiste en una serie de operaciones que, por vía húmeda, logra la extracción del almidón que contienen las raíces de la yuca (Figura 1). Este almidón se somete luego a una fermentación anaeróbica y, posteriormente, a un secado con luz solar. Las operaciones del

proceso, en la secuencia en que éste se desarrolla, son las siguientes:

- Lavado y pelado de raíces
- Rallado de raíces
- Extracción de la 'lechada de almidón'
- Tamizado de la 'lechada de almidón'
- Sedimentación de los gránulos de almidón

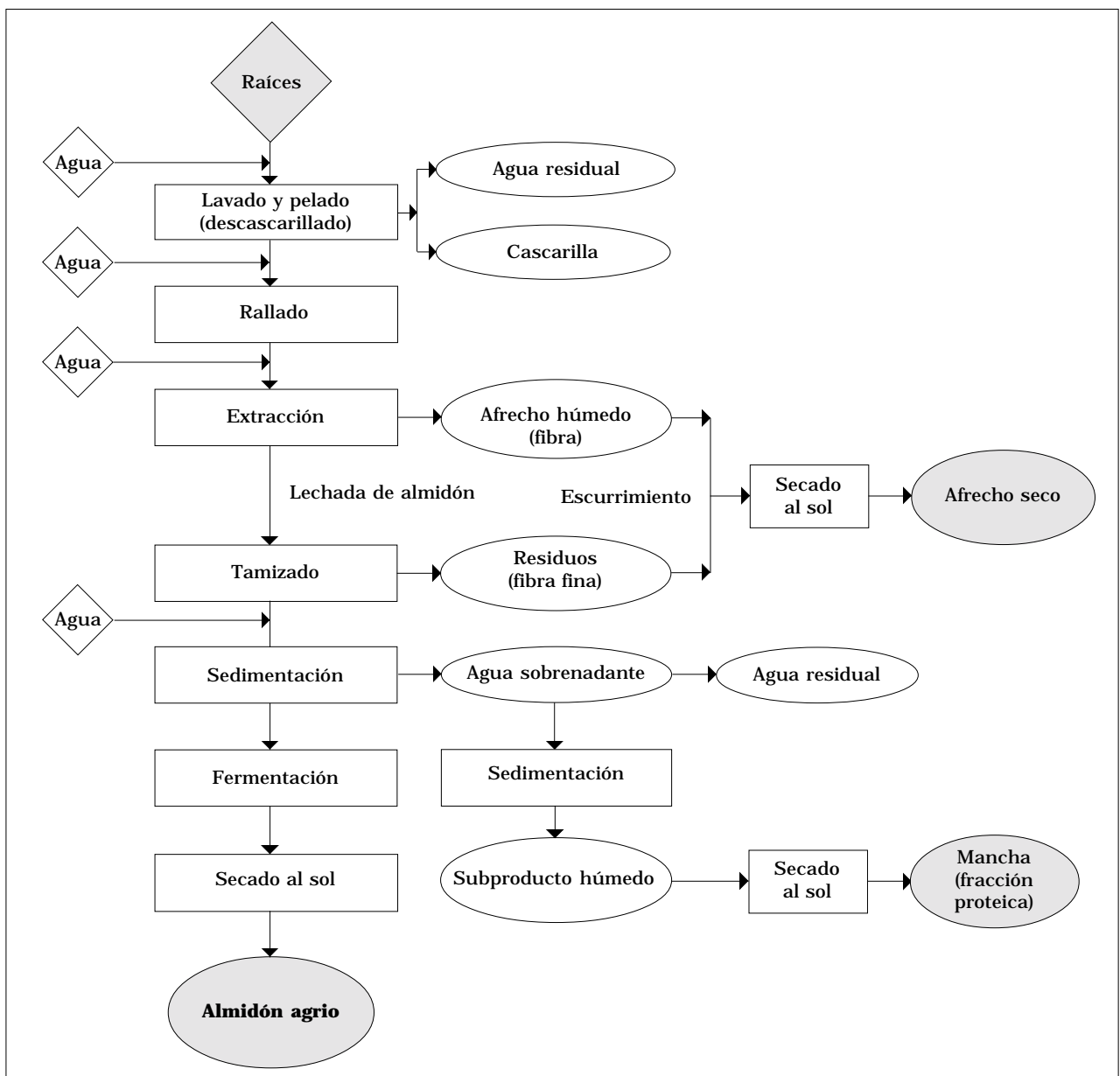


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de extracción de almidón de yuca.

- Fermentación del almidón
- Secado del almidón con luz solar
- Tamizado y empaque del almidón agrio

La Figura 2 es un diagrama esquemático de la instalación en que se lleva a cabo este proceso. En la Figura 3 se presenta un plano descriptivo de dicha instalación.

## Descripción Funcional de una Rallandería

Ver Lámina 1 (pág. 65)

### Pasos del proceso de extracción

#### Recepción de las raíces

Las raíces llegan a las unidades de producción denominadas *rallanderías*, en sacos de 80 a 90 kg, aproximadamente. Estos sacos se organizan en un área cubierta, con piso de concreto que está localizada cerca de la lavadora de raíces para que la operación de

carga de esta máquina cause mínima fatiga a los operarios.

#### Lavado de las raíces

El operario vacía los sacos que contienen las raíces en la tolva de la lavadora; esta tolva se encuentra en uno de los costados del tambor o cilindro giratorio de la máquina. Las raíces se asperjan con agua dentro del tambor para retirar de ellas la tierra y las impurezas que traen y para facilitar la evacuación de esos residuos. La cascarilla o piel delgada de color café, adherida a las raíces, se separa gracias a la fricción de unas raíces con otras y contra la pared interna del cilindro que gira. La cascarilla pasa por los orificios del cilindro y es evacuada junto con las impurezas.

Cuando el operario considera que las raíces están limpias y sin cascarilla, abre la compuerta de retención ubicada en el costado del tambor opuesto a aquél en que está la tolva. Las raíces caen así a un tanque de almacenamiento cuyo fondo tiene una rejilla; este tanque conduce a la tolva del rallo.

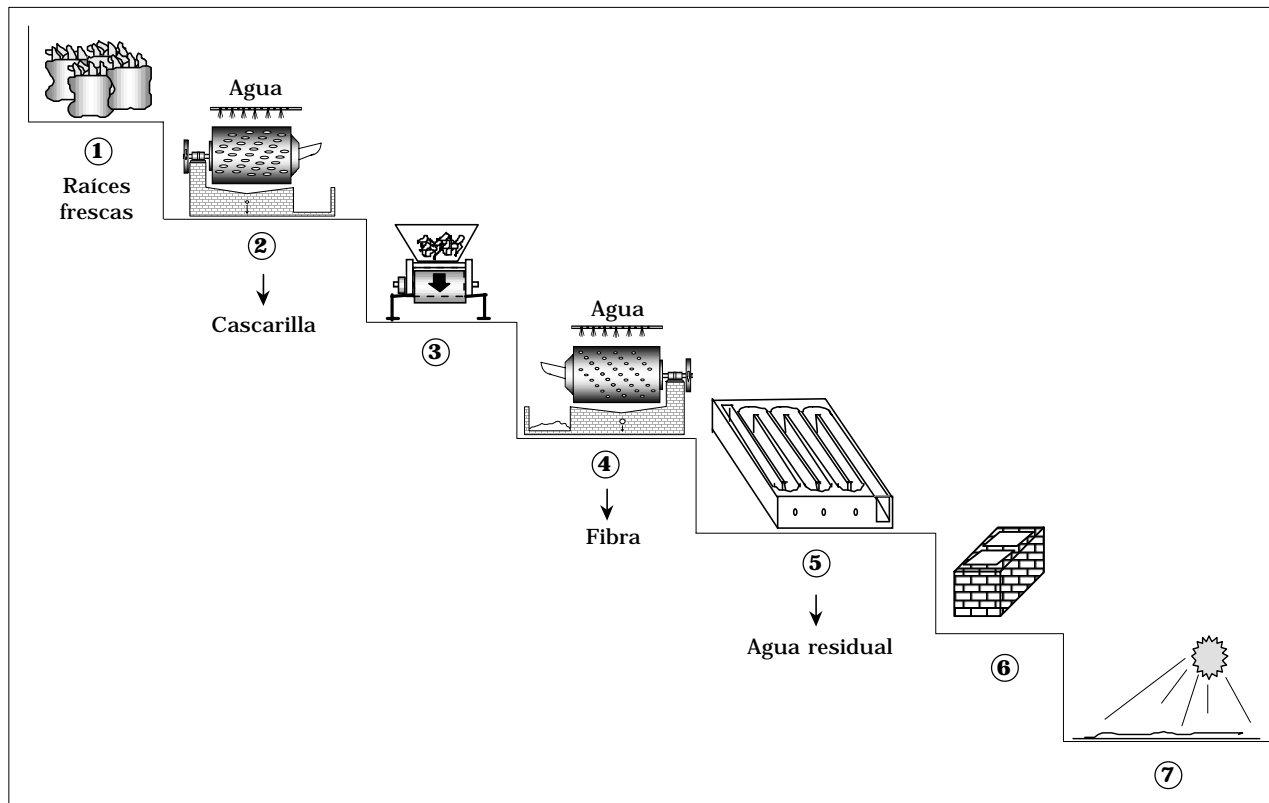


Figura 2. Representación esquemática de una instalación que aprovecha la gravedad para desarrollar el proceso de extracción de almidón de yuca. 1 = Recepción de raíces, 2 = Lavadora, 3 = Rallo, 4 = Tamiz extractor de almidón, 5 = Canales de sedimentación, 6 = Tanques de fermentación, 7 = Área de secado.

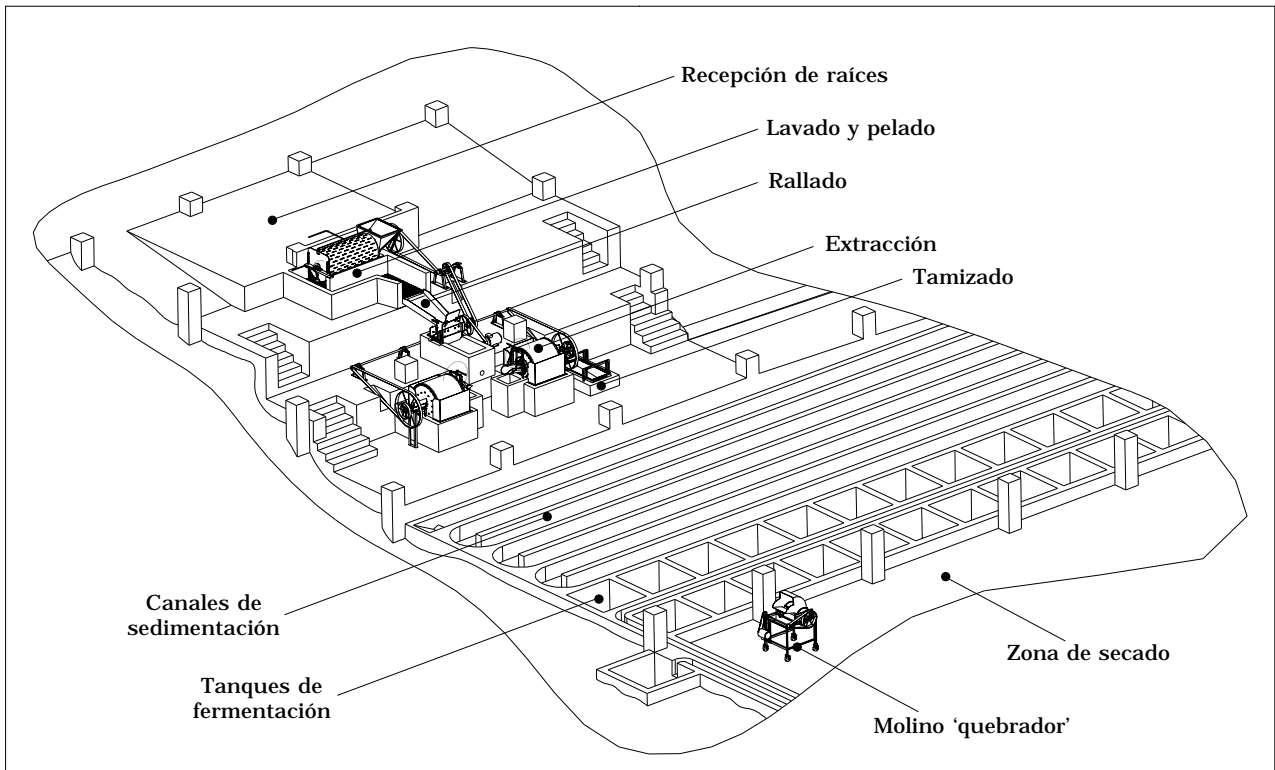


Figura 3. Diseño de la planta física de una instalación en que se extrae almidón de yuca.

El agua de lavado que contiene las impurezas y la cascarilla se recoge en una estructura de mampostería y se conduce por tubería hacia un área de filtración, donde se recupera la cascarilla. Esta se almacena en montones al aire libre para que se descomponga y sirva luego como fertilizante en los cultivos de café, yuca y plátano, principalmente.

#### **Rallado de las raíces**

El operario empuja las raíces desde el tanque de almacenamiento ya mencionado hasta la tolva de carga del rallo; por su forma de canaleta, la tolva favorece el movimiento de las raíces entre las dos máquinas. El contacto directo de las raíces contra la superficie rugosa y cortante del tambor del rallo en rotación causa la desintegración necesaria de las células del tejido amiláceo de la raíz para que éstas liberen los gránulos de almidón.

Durante el rallado se hace aspersión con agua de la superficie interna del tambor para lavar permanentemente los elementos cortantes y para conformar una masa acuosa de fácil transferencia hacia la coladora. Un tanque situado debajo del rallo recibe la masa rallada hasta que ésta pasa a la coladora. Este tanque

está situado en un nivel superior de la coladora, lo que permite cargar directamente la masa rallada por gravedad, facilitando así el proceso.

#### **Separación de la 'lechada de almidón'**

En esta operación se separan los granos de almidón de la masa rallada (pulpa) mediante un profuso lavado de la pulpa con agua. El operario libera la pulpa que se encuentra en el tanque de almacenamiento y la dirige hacia la canaleta pivotante (o cuchara principal de la coladora) que en la posición de carga permite el flujo de la pulpa hacia el cilindro rotatorio de la coladora. Por medio de una tubería perforada a manera de flauta, se introduce suficiente agua, de manera uniforme y radial, en el interior del tambor; se logra así un buen lavado de la pulpa y, por tanto, una adecuada recuperación del almidón disuelto en la lechada.

La coladora procesa 'lotes' de pulpa. La 'lechada de almidón' pasa a través de un lienzo colocado en el interior del tambor y, a medida que transcurre el tiempo de colado, sale cada vez más diluida hasta perder por completo su color; en este momento, el operario interrumpe el colado. Enseguida cambia la dirección de la cuchara principal y la coloca en posición de

evacuación; los residuos o el afrecho caen entonces en un tanque en forma de embudo de donde son conducidos, por tubería enterrada, a un tanque de escurrimiento.

Después de escurrir varios días, estos residuos se extienden, cuando el tiempo lo permite, en patios (sin pavimentar, generalmente) para que se sequen al sol. El afrecho seco se utiliza como componente en raciones para animales.

### **Tamizado de la 'lechada de almidón'**

La 'lechada de almidón' sale de la coladora y fluye hacia un tamiz plano ligeramente inclinado, que ejecuta un movimiento de vaivén. La lechada pasa por los orificios del tamiz, pero las fibras finas —que lograron pasar por la malla de la coladora— son retenidas en él.

Estas fibras se denominan 'afrechillo'. El vaivén de la operación desplaza el afrechillo hacia un extremo del tamiz, donde es recogido en un conducto que lo lleva al tanque de almacenamiento del afrecho.

### **Sedimentación**

La 'lechada de almidón' pasa el tamiz plano de vaivén y es conducida mediante tuberías hacia un laberinto de canales de sedimentación. La sedimentación se basa en el principio de la *precipitación selectiva* de la suspensión de almidón en movimiento. En un canal determinado, la velocidad del fluido establece el tiempo de retención y debe permitir solamente la sedimentación de los granos de almidón; los materiales más livianos (proteínas, fibras, impurezas, etc.) no se sedimentan y salen con las aguas residuales. Por consiguiente, para obtener un sedimento limpio de almidón y evitar al máximo las pérdidas de almidón a la salida del canal se ajustan el caudal de la suspensión (la lechada) y la profundidad de la lámina de agua en el canal.

La sedimentación selectiva depende de la densidad de las partículas de la suspensión. Por tanto, permite diferenciar también el almidón según el tamaño de sus granos, a lo largo del canal.

**Lámina de agua.** Al comienzo del primer día de trabajo, generalmente, se represa en los canales una lámina de agua de aproximadamente 5 cm de profundidad. Para

lograrlo, se superponen tablillas en el extremo del último canal para formar una compuerta de altura variable. Esta agua no tiene un tratamiento adecuado que le permita retirar partículas en suspensión; por tanto, es recomendable añadirla en el último canal del laberinto para que en éste se decanten las impurezas y no se contaminen las primeras secciones del laberinto, en las cuales se deposita el almidón en mayor proporción. A medida que crece la altura de la capa de almidón sedimentado en el primer tramo del primer canal del laberinto, se incrementa igualmente la altura de la compuerta añadiendo más tablillas. Se obtiene así mayor tiempo de retención de la lechada y mejor recuperación de los sólidos suspendidos en ella.

**Mancha.** Sobre la capa de almidón sedimentado, principalmente en los últimos tramos del laberinto, alcanzan a decantarse partículas del subproducto conocido como 'mancha' la cual, por su menor densidad, sedimenta más lentamente. La mancha es rica en proteína y tiene un color crema amarillento. Nunca forma una pasta compacta y, por tal razón, se elimina fácilmente de la superficie del almidón haciendo un lavado con agua suficiente hasta que aparezca el característico color blanco intenso del almidón. El agua que sale al final del último canal y que contiene la mancha se lleva a un tanque de sedimentación donde ésta se recupera parcialmente, según la capacidad del tanque. La mancha se escurre luego y se seca al sol para usarla en la alimentación animal.

La operación de sedimentación se realiza en forma continua y durante varios días hasta cuando se llenen los canales (o cuando sea necesario separar diferentes lotes de yuca) y entonces se retira el almidón. Mientras no esté andando el proceso de extracción, durante la jornada, es conveniente que un poco de agua limpia entre en los canales y evite que la mancha del sobrenadante se deposite sobre el almidón. Al principio del día siguiente se debe 'desmanchar', o sea, retirar la mancha depositada en la superficie de la masa compacta de almidón; se evita así que el almidón de la nueva lechada sedimente sobre la mancha de la jornada anterior.

El almidón se retira del fondo del canal en forma de bloques que se cortan fácilmente con ayuda de palas metálicas o plásticas. Estos

bloques se transportan en baldes hasta los tanques de fermentación.

### **Fermentación**

El almidón se deposita en los tanques de fermentación donde permanece durante 15 días, por lo menos. Algunos procesadores de almidón de yuca tienen como norma fermentarlo de 45 a 60 días para asegurarse de que adquiere dos propiedades: el poder de expansión y el aroma, necesarias para la elaboración de productos tradicionales de panadería. El almidón puede permanecer en los tanques de fermentación durante períodos de 3 a 4 meses sin que se deteriore su calidad. Esta permanencia larga suele ocurrir en épocas de lluvias en que se dificulta el secado.

Una capa de agua de 5 a 10 cm debe recubrir permanentemente la masa de almidón. Cuando se llenan los tanques se puede añadir, con el fin de acelerar la fermentación, agua obtenida de tanques de fermentación usados anteriormente o agua sobrenadante del tanque de sedimentación de la mancha, siempre que haya transcurrido en éste el tiempo suficiente para que la mancha sedimente. Se recomienda también colocar en el fondo del tanque de fermentación un bloque de almidón ya fermentado tomado de otro tanque de fermentación que contenga almidones de variedades de yuca de buena calidad.

### **Secado**

El almidón forma una masa muy compacta en los tanques de fermentación. Su contenido de humedad es, aproximadamente, de 55% en base húmeda. Utilizando palas metálicas, se cortan bloques de la masa de almidón y se transportan a los patios de secado. Algunas plantas extractoras cuentan con un equipo denominado *molino quebrador* o *desmenizador*, que sirve para desintegrar los bloques; así, al exponer al sol el almidón desmenizado, su tasa de secado es más uniforme. Cuando no hay equipo para quebrar el almidón, los operarios o 'patieros' desintegran los bloques desmenizándolos con las manos y mediante el pisoteo.

El almidón húmedo se seca, generalmente, en patios pavimentados, esparcido sobre láminas de plástico de color negro. La capa de almidón extendida sobre el plástico puede variar de 1 a 2.5 kg/m<sup>2</sup>, según la irradiación

solar del día. Esta capa debe ser removida frecuentemente con un rastrillo para exponer el producto uniformemente al sol y acelerar el secado.

Cuando el almidón alcanza una humedad de 12% a 14%, en base húmeda, se empaca en sacos para comercializarlo.

### **Aprovechamiento de la gravedad**

Es conveniente instalar los equipos y las estructuras civiles de la rallandería a diferente nivel. El propósito es aprovechar la gravedad durante las operaciones de carga y descarga de los equipos para disminuir considerablemente la fatiga de los operarios y para incrementar la capacidad de procesamiento de la planta.

Ver Lámina 1 (pág. 65) y  
Planos GC-98-100A a GC-98-300B (págs. 87-95)

### **Consumo de agua en la rallandería**

El alto consumo de agua en las rallanderías del Cauca, en Colombia, se considera un problema serio de la tecnología disponible hoy para la extracción de almidón de yuca. El proceso consume, en promedio, de 15 a 20 m<sup>3</sup> por cada tonelada de raíces procesadas. En el Cauca se utilizan de 60 a 90 litros de agua por kilogramo de almidón y en Brasil, donde la tecnología es mejor, se consumen, en promedio, de 15 a 25 litros por kilogramo de almidón.

Este problema tiende a agravarse por las siguientes razones:

- escasez de agua en las épocas secas;
- disminución notable del recurso agua en sus fuentes por la tala actual de los bosques;
- aumento de la capacidad de procesamiento de las rallanderías (por las mejoras de los últimos años) que procesan actualmente mayor cantidad de raíces y consumen, por tanto, más agua que antes.

La contaminación generada por las aguas residuales que llevan una carga alta de materia orgánica crea otro problema al consumo del agua. Esas aguas se vierten en los ríos sin ningún tratamiento. Se calcula que las

rallanderías del Cauca producen diariamente una carga contaminante de 2000 a 6000 mg de DQO<sup>1</sup> por litro de efluente.

## Descripción Técnica de los Equipos de una Rallandería

### Lavadora de raíces

Ver Lámina 2 (pág. 66) y Planos LAV-98-100A a LAV-98-400C (págs. 99-126)

La máquina consta de una tolva de admisión de raíces, de un árbol de transmisión, de un cilindro o tambor ranurado, de una compuerta para retener las raíces, y de un tanque de almacenamiento de raíces lavadas ubicado frente al rallo. Una estructura civil soporta el equipo y canaliza las aguas residuales del lavado. Este equipo funciona por 'lotes' de raíces y su capacidad es, aproximadamente, de 1000 kg de raíces por hora.

#### Tolva para raíces

Tiene una capacidad aproximada de 100 kg de yuca. Está construida en lámina de acero de 1.5 mm de espesor y se fija por medio de pasadores y ángulos incrustados en los muros de concreto de la estructura civil. La base de la tolva debe diseñarse para que permita el paso del árbol de transmisión de la lavadora.

#### Árbol de transmisión

El árbol o eje central, de 60 mm de diámetro, hace la transmisión del movimiento al cilindro. Está soportado por rodamientos en sus extremos, uno de los cuales está fijo sobre un muro de concreto y el otro se asienta sobre una platina de hierro de 100 x 50 mm empotrada en el concreto. Una polea plana se fija al árbol mediante un tornillo prisionero.

#### Cilindro de la lavadora

El recipiente cilíndrico o tambor de la lavadora tiene un diámetro de 700 mm y una longitud de 1600 mm. Está hecho de una lámina de 5 mm de espesor que ha sido enrollada para formar el cilindro y que se perfora con orificios rectangulares de

120 x 12 mm; se hacen en total 14 líneas de 6 ó 7 orificios cada una.

Su velocidad de giro es de 40 revoluciones por minuto (r.p.m.). El cilindro se une al eje central en sus extremos mediante soportes circulares o rines, que constan de un buje fijo al árbol con tornillos prisioneros, de unas platinas de hierro que hacen de radios de los rines, y de un aro metálico que se suelda al cilindro. Las platinas de los radios están inclinadas para favorecer la introducción de las raíces.

En la superficie interior del cilindro se han soldado cuatro varillas de hierro de 12 mm de diámetro que forman una hélice; ésta induce un movimiento axial que facilita la carga, la agitación y el vaciado de las raíces.

#### Compuerta de salida

Es un semicírculo hecho de lámina de 2 mm de espesor y montado en bisagras sobre una platina de hierro de 100 x 50 mm fija a la estructura. Está ubicada en el extremo del cilindro por donde son evacuadas las raíces y mantiene las raíces dentro de la lavadora durante la operación de lavado. Un mecanismo de barras permite abrirla o cerrarla bloqueándola en la posición de trabajo.

#### Tanque de almacenamiento

Las raíces lavadas, y ya sin cascarilla, son vaciadas en un tanque en cuyo fondo se encuentra una rejilla hecha de varillas de hierro rectangulares de 10 x 10 mm. Este tanque permite escurrir las raíces, controlar visualmente la calidad del lavado, separar las piedras y otros objetos pequeños, y almacenar temporalmente las raíces antes de su paso por el rallo. La rejilla puede retirarse para facilitar la limpieza del tanque.

#### Estructura civil

Cumple las funciones de soportar la lavadora y permitir la evacuación del agua del lavado de las raíces con las impurezas. Con muros se separa el espacio por donde se retira el agua de lavado para que no salpique el área de almacenamiento temporal de raíces lavadas. El foso de evacuación tiene forma de pirámide invertida y su pendiente es muy pronunciada; así se logra que la cascarilla y las impurezas sean evacuadas adecuadamente sin necesidad de añadir más agua.

1. DQO = demanda química de oxígeno.

### **Suministro de agua**

Se hace con tubos situados a la entrada y a la salida del cilindro, cerca de su tangente superior. El caudal varía de 2 a 2.5 litros de agua por cada kilogramo de raíces frescas de yuca.

#### **Especificaciones de la lavadora de raíces**

- Capacidad (de raíces frescas): 1000 kg/h
- Dimensiones del cilindro: - longitud: 1600 mm  
- diámetro: 700 mm
- Velocidad de rotación del cilindro: 40 r.p.m.
- Caudal de agua necesario: 2 a 2.5 lt/kg de raíces

### **Rallo**

Ver Lámina 3 (pág. 67) y Planos RAP-98-100A a RAP-98-400B (págs. 129-149)

El rallo está soportado por una estructura civil. La máquina consta de una tolva, un chasis metálico, un árbol de transmisión y un rotor. El rallo puede funcionar en forma continua. Tiene una capacidad máxima de 1700 kg de raíces frescas por hora; en general, la capacidad depende del desgaste de la lámina abrasiva del rotor.

#### **Tolva**

Tiene forma de canaleta para facilitar la admisión de raíces lavadas. Reposas sobre la estructura civil de la lavadora y está fija, mediante tornillos, al chasis del rallo. Está hecha de lámina de 2 mm de espesor.

#### **Chasis**

Consta de dos marcos hechos con ángulos de 50 x 50 mm, empotrados en el concreto frente a los costados del rotor; estos marcos soportan los rodamientos del eje del rotor y una caja rectangular hecha con lámina de 4 mm de espesor que mantiene las raíces en posición durante el rallado. Una tapa pivotante sobre bisagras, colocada en la parte superior de la caja, permite la revisión del tambor, impide que la pulpa sea proyectada al exterior, y evita el contacto involuntario de las manos del operario con el elemento cortante del rotor.

En la pared frontal interna de la caja se fija una tabla de madera de 40 mm de espesor que casi toca el rotor, para impedir el paso de trozos de yuca o cáscaras sin desintegrar. La tabla se fija con tornillos, pero es posible ajustarla cuando en la masa rallada aparezcan elementos gruesos.

En algunos rallo se instala una criba con perforaciones circulares de 5 mm de diámetro, semejante a las cribas de los molinos de martillo. El tambor del rallo fuerza la pulpa a pasar por los orificios de la criba y se obtiene así un producto de una granulometría más fina y uniforme que da resultados excelentes, es decir, permite extraer mayor cantidad de almidón.

#### **Árbol de transmisión**

El árbol de transmisión está soportado por rodamientos. Tiene un diámetro de 40 mm y un extremo en voladizo donde se fija una polea plana, la cual recibe el movimiento generado por la fuente motriz.

#### **Rotor**

La estructura cilíndrica del rotor consta de dos aros metálicos sobre los que se fijan con tornillos unas piezas de madera de forma trapezoidal; se construye así un tambor hueco de 280 mm de diámetro y de 400 mm de largo. Sobre este cilindro se enrolla primero y luego se fija una lámina de acero galvanizado de 0.8 mm de espesor.

Esta lámina se corta, en un principio, a la medida del tambor y se le hacen múltiples perforaciones con un clavo hasta convertirla en una superficie áspera. El rotor se fija mediante tornillos prisioneros al árbol de transmisión. El conjunto gira a una velocidad de 1800 r.p.m.

#### **Carcaza**

Es la estructura o caja que contiene el rallo. Está conformada por piezas de madera o de lámina colocadas en los costados del rallo para evitar que la pulpa se derrame impulsada por el rotor.

#### **Estructura civil**

El rotor está soportado por rodamientos anclados en dos de los muros que forman el tanque de almacenamiento de la pulpa. La capacidad de este tanque es, al menos, igual al



'lote' de pulpa con que se cargan las coladoras. Un tubo de PVC pivotante permite al operario enviar este lote a cada una de las coladoras disponibles.

### **Suministro de agua**

El agua circula por un tubo perforado de PVC situado en la parte superior del rotor y cae en forma de ducha. El caudal empleado es, aproximadamente, de 1 litro de agua por kilogramo de raíces frescas.

#### **Especificaciones del rallo**

- Capacidad (de raíces frescas): 1700 kg/h
- Dimensiones del rotor:
  - longitud: 400 mm
  - diámetro: 280 mm
- Velocidad de rotación del rotor: 1800 r.p.m.
- Caudal de agua necesario: 0.8 a 1 lt/kg de raíces

### **Coladora**

Ver Lámina 4 (pág. 68) y Planos EXT-98-100A a EXT-98-700C (págs. 153-198)

La coladora se instala en una estructura de concreto que soporta directamente el conjunto de la transmisión de la máquina. La coladora está compuesta por un cilindro de extracción, un sistema de alimentación, la carcasa, y un receptáculo pivotante o cuchara principal que en una posición extrema de su recorrido funciona como canaleta de carga y en la posición del extremo opuesto como canaleta de vaciado. La coladora funciona por lotes y su capacidad es de 275 kg de raíces frescas por hora. Esta capacidad es baja, comparada con la de la lavadora y la del rallo; por ello, en las rallanderías de mayor capacidad se instalan dos coladoras en paralelo.

### **Transmisión**

A un chasis de ángulos empotrado en el concreto se le fija, con tornillos, una 'caja de rodamientos' construida localmente con rodamientos cónicos ya usados que provienen, generalmente, de la transmisión de algún vehículo de carga. La 'caja' soporta en voladizo el resto del equipo por medio de un árbol de transmisión de 50 mm. El árbol termina en un

disco circular que actúa como refuerzo del eje en el extremo donde éste se une al cilindro de extracción de la coladora. En el otro extremo del eje se fija una polea plana mediante tornillos prisioneros; esta polea recibe el movimiento de la fuente motriz.

### **Cilindro de extracción**

El cilindro o tambor de la coladora tiene un diámetro exterior de 980 mm y una longitud de 870 mm. Su velocidad de rotación es de 25 r.p.m. Consta de los siguientes elementos:

- Un conjunto de tres láminas circulares, cada una de diámetro diferente, se atornilla al refuerzo circular del árbol de transmisión. El espesor de estas láminas debe ser suficiente (entre 6 y 8 mm) para que el conjunto tenga la rigidez adecuada y también para fijar en ellas con firmeza los elementos interiores del cilindro. Un aro de hierro se suelda sobre la lámina de mayor diámetro (alrededor de su perímetro circular) para que mantenga en posición la lámina perforada de aluminio y la tela del tamiz.
- Un disco de lámina conforma la pared del cilindro de extracción por el lado de admisión de la pulpa. Su espesor (2 mm) es limitado para reducir el peso del conjunto sobre el voladizo, pero es suficiente para poder fijar con firmeza los elementos interiores del cilindro. Debe llevar un orificio circular centrado para la admisión y el vaciado de la pulpa. Como se hizo en la pared circular del otro extremo del cilindro, en ésta también se suelda un aro de hierro sobre el perímetro de la lámina circular para mantener en posición, por este lado, la lámina perforada de aluminio y la tela del tamiz.
- En el interior del cilindro hay seis varillas de hierro de 14 y 20 mm de diámetro que sostienen en posición los dos extremos circulares del cilindro. En el interior del cilindro se colocan seis ángulos de 30 x 30 mm que, como las seis barras, sostienen en posición los costados del cilindro y sirven para que se fijen en ellos, mediante tornillos, seis juegos de paletas simétricas o 'cucharas' hechas con lámina de 1.5 mm de espesor. Estas cucharas están situadas en tal forma que toman del fondo del cilindro la mezcla de pulpa y agua, la elevan hasta cierto punto y la dejan caer en forma de cascada; así se favorecen las

operaciones de mezcla, agitación y lavado. Las cucharas sirven también para cargar la cuchara oscilante con el residuo del lavado cuando ésta se encuentra en la posición de vaciado al final de la operación.

- Un elemento de madera, de sección 100 x 20 mm, se coloca entre los dos costados del cilindro, junto a uno de los seis ángulos que soportan las cucharas. El elemento esencial de la coladora es una tela, conocida como nylon o muselina, de aproximadamente 100 mesh y que se fabrica para diversos usos domésticos e industriales; esta tela filtra la 'lechada de almidón'. La tela se instala en el exterior del cilindro, se apoya en los aros metálicos y se fija por sus extremos, mediante clavos, en el elemento de madera. La tela cede cuando se humedece; por tanto, se recomienda humedecerla previamente para que permanezca tensa durante el colado. Algunos procesadores prefieren usar telas de algodón o lienzos porque retienen mejor las fibras; estas telas se deterioran porque se resecan o se pudren cuando la planta no procesa diariamente. Es posible también colocar telas metálicas, aunque su alto costo y la dificultad de conseguirlas son un inconveniente serio.
- Una lámina de aluminio de 1 mm de espesor, que presenta perforaciones en forma de 'gotas de agua', se coloca sobre la tela del tamiz para servir a éste de soporte. El borde afilado de las perforaciones se coloca hacia el exterior para evitar cortar la tela. En cada uno de los extremos de la lámina se fija un ángulo y, al colocar la lámina sobre el tambor, los dos ángulos deben quedar encima del elemento de madera; en esa posición se unen por medio de tornillos y así mantienen fija la lámina y la tela del tamiz.

### **Cuchara principal**

La cuchara con que se carga y descarga la coladora está hecha de lámina de 2 mm de espesor. El movimiento de oscilación requerido se logra con un par de platinas de hierro soldadas a la cuchara que se unen, mediante una articulación de pasador, a un marco metálico empotrado en el concreto. Las dos posiciones, 'admisión de la pulpa' y 'vaciado de la pulpa', se obtienen con una palanca articulada que se encuentra en el marco

metálico y que se fija, según la posición deseada, en ranuras hechas en el exterior de la base de la cuchara.

### **Estructura civil**

Consta de un tanque de 10 cm de profundidad ubicado debajo de la coladora para recoger la lechada que sale, por un tubo de PVC, hacia el sistema de recolado o tamiz plano. Un tanque de sección cuadrada sirve para recibir el afrecho entregado por la cuchara de vaciado; del fondo de éste sale un tubo de PVC que conduce el afrecho a un tanque de escurrimiento.

### **Carcaza**

Se compone de dos láminas en posición vertical de 1.5 mm de espesor que prolongan las paredes verticales del tanque de recepción de la lechada y recuperan la que lanza por los orificios el tambor de la coladora; con esta caja contenedora se reducen las pérdidas de almidón.

### **Suministro de agua**

Una tubería perforada, que penetra a lo largo del cilindro y se fija en el mismo marco de soporte de la cuchara principal, alimenta el cilindro con agua. El consumo es, aproximadamente, de 6.5 litros de agua por kilogramo de raíces frescas.

#### **Especificaciones de la coladora**

- Capacidad (de raíces frescas): 275 kg/h
- Dimensiones del cilindro: - longitud: 870 mm  
- diámetro: 980 mm
- Velocidad de rotación del cilindro: 25 r.p.m.
- Caudal de agua necesario: 6.5 lt/kg de raíces

### **Tamiz plano**

Ver Lámina 5 (pág. 69) y Planos TAM-98-100A a TAM-98-300B (págs. 201-214)

Para filtrar la 'lechada de almidón' y eliminar las fibras más pequeñas se utiliza, en la mayoría de las rallanderías, un tamiz plano que tiene movimiento de vaivén. Debajo de él hay un tanque que recibe la lechada tamizada; su

estructura es de concreto y está recubierto con cerámica. El tanque tiene, aproximadamente, 300 mm de altura y sobre sus muros se fijan dos marcos hechos con ángulo de 35 x 35 mm, en forma de U invertida. Sobre estos marcos se fijan verticalmente cuatro segmentos de correa plana que sostienen un chasis en un ángulo ligeramente inclinado; sobre este chasis descansa el tamiz de 1200 mm de largo por 600 mm de ancho.

El movimiento de vaivén del chasis se logra mediante una biela accionada por una excéntrica, la cual se fabrica con un rodamiento de bolas ya usado. Un árbol de transmisión de 25 mm de diámetro con una velocidad de giro de 200 r.p.m. transmite el movimiento al tamiz mediante una polea plana que se fija al árbol con un tornillo prisionero. El desplazamiento horizontal del chasis es, aproximadamente, de 40 mm. La 'lechada de almidón' se recupera del fondo del tanque con una tubería de PVC que la dirige hacia los canales de sedimentación.

### **Transmisión general de potencia**

Ver Lámina 6 (pág. 70) y Planos TRANS-98-100A a TRANS-98-304 (págs. 217-230)

Las rallanderías del Cauca están ubicadas en zonas rurales productoras de yuca. El sistema de distribución de electricidad es allí de buena calidad y la energía llega incluso a regiones apartadas. Sin embargo, los fenómenos climáticos (tormentas eléctricas, vendavales) afectan con frecuencia ese sistema.

Para solucionar el problema de los cortes de fluido eléctrico, los procesadores instalan en las rallanderías, como fuente de potencia, un motor eléctrico y un motor de combustión que se usará cuando haya cortes de energía eléctrica. En estos casos, transfieren manualmente la correa de transmisión del motor eléctrico al motor de combustión. La potencia del motor eléctrico es de 5.5 kW (7.5 HP). El motor auxiliar de gasolina debe tener, por lo menos, 16 HP.

Los ejes de los motores y todos los árboles de transmisión mueven poleas planas. El movimiento se transmite por correas planas de caucho de gran duración que se adquieren en los mercados locales. El motor transmite el movimiento al árbol principal de transmisión

que es paralelo al eje de todos los equipos; de éste se toma la potencia para todas las máquinas siguiendo el mismo principio, es decir, mediante ejes y poleas intermedias. La lavadora requiere de un contraeje adicional porque su velocidad de rotación es baja (40 r.p.m.).

Este sistema presenta, no obstante, limitaciones importantes; entre otras, la seguridad para los operarios y ocasionalmente la rotación en vacío del rallo y la lavadora. En efecto, la transmisión de potencia mediante correas planas y contraejes de transmisión, empleando un solo motor, pone en riesgo la protección debida al operario. El trabajo no continuo o por lotes y la diferencia en rendimiento de los distintos equipos hace que algunos de éstos roten sin carga; esto obliga al operario a zafar manualmente, empleando un cabo de madera, las correas de sus poleas. Cuando sea necesario instalarlas de nuevo, lo hará con el sistema de transmisión en funcionamiento, lo que representa para él un grave riesgo de accidente.

Algunas rallanderías prefieren evitar el riesgo de accidentes y no desconectan, por ello, los equipos; experimentan, entonces, un desperdicio de potencia por el movimiento innecesario de la lavadora y del rallo. Las dos coladoras, por su menor capacidad, son las únicas máquinas de este proceso que funcionan permanentemente.

### **Canales de sedimentación**

Ver Lámina 7 (pág. 71) y Esquema 7bis (pág. 72)

La sección transversal de estos canales tiene 600 mm de ancho por 400 mm de profundidad. El canal ideal para crear un flujo laminar y lograr una sedimentación homogénea sería rectilíneo y de más de 180 m de largo; esta construcción, generalmente, no es posible por razones de organización y de espacio. Lo que comúnmente se construye es un laberinto o conjunto de siete canales paralelos, de 25 m de largo cada uno. Para evitar al máximo la turbulencia de la corriente, los extremos de cada canal rectilíneo forman un arco de circunferencia que los conecta con el canal siguiente. Al inicio del primer canal, donde cae la lechada proveniente del tamiz plano, se construye un desarenador de más o menos 1 m

de longitud; éste, además de filtrar, entrega por rebosamiento el caudal de la lechada de manera más uniforme a los canales.

Los canales son de concreto y están revestidos de baldosa de cerámica que facilita la limpieza y evita el deterioro del concreto por los ácidos que provienen del almidón. El objetivo de los canales es permitir la sedimentación del almidón solamente. Las impurezas pesadas, como la arena, quedan en el desarenador, y las livianas deben salir en las aguas residuales del canal.

Las aguas residuales llevan partículas finas en suspensión que se descargan en un tanque de sedimentación al final de los canales. Además, en el extremo de cada par de canales se colocan drenajes que facilitan la salida de las aguas de limpieza, las cuales se conducen al mismo tanque de sedimentación.

### **Tanques de fermentación**

Se construyen con ladrillo, se repellan con cemento y se protegen en su interior con cerámica o madera. Estos tanques se colocan cerca de los canales de sedimentación haciendo lo posible para que queden al mismo nivel de éstos; así se reduce la fatiga de los operarios que los llenan con el almidón sedimentado en los canales. La fermentación es mejor si los tanques quedan a la sombra, en sitios frescos y, cuando se puede hacerlo, enterrados; de este modo, la temperatura en su interior se mantiene muy uniforme.

Las dimensiones de un tanque, en su interior, son aproximadamente de 1200 x 1400 mm, con 1200 mm de altura. El almidón en los tanques se protege con un material tejido (ya sea de sacos de fique o de polipropileno) que se monta en marcos de madera; este material deja salir los gases producidos en la fermentación impidiendo la entrada de insectos.

### **Molino quebrador de almidón**

Ver Lámina 8 (pág. 73) y Planos EMOT-98-100A a EMOT-98-203 (págs. 233-251)

Los bloques compactos de almidón que salen de los tanques de fermentación se quebran o desmenuzan en un molino. El objetivo de esta

operación es incrementar la tasa de evaporación del agua cuando el almidón se exponga al sol en los patios de secado. El molino puede ubicarse en un sitio apropiado de la rallandería; cuando se instala en un chasis provisto de ruedas, se moviliza hasta el tanque de fermentación que se esté desocupando.

El molino consta de los siguientes componentes: un chasis principal de ángulos, un árbol de transmisión, un segundo chasis de ángulos que sostiene la carcasa del molino, un rotor, una tolva de alimentación y una lámina perforada. Este equipo requiere de un motor eléctrico de 2.7 kW (3.6 HP) de potencia.

#### **Chasis principal**

Se fabrica con ángulos de 40 x 40 mm y se provee de una rueda en cada una de sus cuatro patas. A él se sueldan verticalmente varios ángulos de 25 x 25 mm para formar un riel, sobre el cual se desliza el motor hasta obtener la tensión deseada de la banda.

#### **Árbol de transmisión**

Tiene un diámetro de 25 mm. Se instala sobre dos rodamientos que han sido fijados al chasis. En cada uno de sus extremos hay dos poleas que forman parte del sistema reductor de velocidad.

#### **Chasis secundario**

Está atornillado al chasis principal y soporta verticalmente dos círculos de lámina de 10 mm de espesor que componen la carcasa del molino. A estos dos círculos se atornillan los dos rodamientos mencionados en el párrafo anterior.

#### **Rotor**

Consta de un árbol de 40 mm de diámetro que se apoya en los dos rodamientos del chasis secundario. Un agitador de cuatro aletas se fija al árbol con tornillos prisioneros. El agitador consta de un tubo de 5 mm de espesor en el cual se sueldan radialmente ocho platinas planas de hierro de 60 x 6 mm; éstas soportan, atornilladas en sus extremos, cuatro tablillas planas de madera de 85 x 20 mm, que constituyen las cuatro aletas del agitador. El diámetro que circunscribe las aletas es, aproximadamente, de 420 mm. En uno de los extremos del árbol se fija una polea plana cuya velocidad de rotación es de 280 r.p.m.

### **Tolva de alimentación**

Está hecha de lámina de acero galvanizado de 1.5 mm de espesor y se atornilla a los dos círculos verticales de la caja contenedora del molino. La forma y posición de la tolva facilitan la introducción de los bloques de almidón húmedo y evitan que la operación de molienda proyecte almidón fuera de la máquina.

### **Lámina perforada**

La criba es una lámina de 1.5 mm de espesor, con múltiples perforaciones de 5 mm de diámetro. Se atornilla bajo el rotor en los dos círculos verticales y laterales de la carcasa formando un arco de 260°.

### **Motor eléctrico**

Es solidario con la máquina con el propósito de poder movilizar el molino a los diferentes sitios de trabajo.

### **Área de secado**

El almidón desmenuzado se extiende en patios de concreto sobre plásticos de polietileno negro para que se seque al sol; el color negro acelera el secado. Si llueve, el almidón se recoge en el centro del plástico y con éste se protege del agua. Se necesita un área grande de patio porque sólo se pueden secar entre 1 y 2.5 kg/m<sup>2</sup> por día.

El secado es el factor limitante de la producción de almidón agrícola, por dos razones: el costo elevado de la construcción de patios de cemento y las condiciones climáticas desfavorables para esta operación en las zonas de producción de almidón.

### **Tanques de escurrimiento y de almacenamiento de subproductos**

Estos tanques se construyen a un costado de la planta procesadora. Se usan para recoger la cascarilla y el afrecho obtenidos durante el lavado de las raíces y en la extracción del almidón. Estos subproductos se conducen por tubería enterrada desde los equipos hasta los tanques. Para recuperar el afrecho se emplean, generalmente, dos tanques contiguos de 5 x 3 m, y con 1.5 m de altura; sus paredes son de concreto o de guadua.

Al primer tanque llega el afrecho directamente de la coladora, junto con el agua

necesaria para su transporte; el agua sale por el fondo del tanque, que está formado por una rejilla de bambú. El afrecho escurrido, pero aún con un 80% de humedad, se pasa al tanque contiguo donde se almacena. En general, el afrecho no se seca en la rallandería porque en ésta se dispone de poco espacio; se vende a intermediarios que lo secan en los bordes de las carreteras y lo comercializan como componente de raciones para animales.

## **Diseño y Fabricación de Máquinas y sus Componentes**

La producción de almidón agrícola es aún artesanal. Sin embargo, las máquinas y los equipos desarrollados por los rallanderos y mecánicos de la zona para ese proceso son de fácil construcción, tienen un precio accesible y se adaptan perfectamente a las necesidades de los usuarios.

Estas máquinas han sido innovadas gradualmente atendiendo una triple necesidad: reducir la fatiga del operario, incrementar la producción y, lógicamente, buscar una reducción de los costos de fabricación. Por esta razón se utilizan partes recuperadas, como ejes y rodamientos, de los vehículos de carga pesada. El mantenimiento que exigen estos equipos, a excepción del requerido por la lámina del rallo y por la tela del tamiz de la coladora, es mínimo. Un proceso de ensayo, error y éxito ha permitido conocer el tipo de rodamiento, las dimensiones de los ejes de transmisión y los materiales con que se deben hacer los elementos para que duren mucho tiempo. Los materiales se consiguen fácilmente en las ciudades vecinas. Las máquinas y sus accesorios pueden fabricarse y se les puede dar mantenimiento en pequeños talleres locales que dispongan de las siguientes herramientas:

- Equipo de oxiacetileno para cortar y soldar metales
- Equipo eléctrico para soldar
- Taladro de columna
- Cortadora y esmeril
- Mesa de trabajo
- Prensa
- Equipo básico de herramientas manuales

## Recomendaciones para fabricación

### Lavadora

El cilindro de la lavadora es de lámina de acero de 5 mm de espesor y tiene un conjunto de aberturas rectangulares de 120 x 12 mm por donde salen la cascarilla y las impurezas.

- Si se dispone del equipo adecuado, estas aberturas pueden hacerse taladrando la lámina antes de que sea enrollada para formar el cilindro.
- El costo de fabricación puede reducirse, aproximadamente, en una tercera parte si se enrolla la lámina, se suelda y se perfora con un equipo de corte de oxiacetileno. Se hacen simplemente marcas sobre la lámina en el lugar en que quedarán las perforaciones, ya que ni las dimensiones ni la localización de éstas requieren una gran precisión.

### Rallo

Ver Lámina 9 (pág. 74)

En los extremos del eje del rotor se fijan dos ruedas metálicas que constan de un disco soldado en la parte interior de un aro.

- El disco se corta de una platina con el equipo de oxiacetileno y recibe un acabado con el esmeril. El aro sale igualmente de una platina que se moldea fácilmente en el taller; ésta se une luego al disco con soldadura.
- Los listones de madera que conforman el tambor se atornillan a la periferia de los dos aros del rotor. La madera de los listones tendrá una densidad de aproximadamente  $900 \text{ kg/m}^3$  y debe ser resistente a la deformación y a la humedad del ambiente.
- La lámina del rallo es de acero galvanizado para evitar la oxidación y tiene 0.8 mm de espesor. El mecánico rural suele comprar una lámina completa y de ella corta secciones según las dimensiones del trabajo solicitado. La lámina debe quedar con perforaciones protuberantes y ásperas.
- El espacio que separa dos hileras de perforaciones es de 12 mm y la distancia

entre dos perforaciones consecutivas en cada hilera es también de 12 mm. Para la perforación, la lámina se corta a la medida, se marca en ella una cuadrícula a 12 x 12 mm, se coloca sobre una pila de sacos de fique y, con un martillo de madera, se introduce en cada marca un clavo de hierro de 5 x 80 mm.

- La lámina perforada se enrolla sobre el cilindro (tambor) de madera. En la unión de los bordes, la lámina se traslapa aproximadamente 1 cm y se asegura con puntillas al cilindro de madera. Algunos productores acostumbra rehabilitar la lámina golpeando de nuevo los agujeros con el clavo para que las aristas de éstos recuperen el filo.

### Coladora

Ver Láminas 10 y 11 (págs. 75-76)

Como árbol de transmisión de la coladora, generalmente se utiliza la mitad de un eje fracturado de la transmisión de un camión. El eje se recupera para su función en esta máquina y su longitud se modifica según la necesidad del usuario.

- El árbol está sostenido por dos rodamientos cónicos de bolas de doble hilera montados en una caja cilíndrica y mantenidos en posición por un sistema de tensores fabricados en el taller, también con materiales recuperados. Los rodamientos se consiguen en sitios especializados en la venta de partes usadas de sistemas de transmisión de potencia. La caja se fabrica con un tubo de hierro al que axialmente se le corta un casquete, el cual se reinstala luego sobre bisagras para formar la tapa de la caja. Las chumaceras que se necesitan se fabrican con platinas de hierro y se sueldan en la caja. La lubricación de los rodamientos se obtiene por salpique del aceite almacenado en el fondo de la caja.
- La lámina perforada que recubre y sostiene la tela que hace de filtro en la coladora es de aluminio de 1 mm de espesor. Este material fue escogido por su alta resistencia a la corrosión y por la facilidad con que puede moldearse. Para hacer las

perforaciones, se coloca la lámina previamente cuadriculada sobre una tabla de madera blanda y se golpea con un cincel en las marcas haciendo huecos de 10 mm de diámetro. Los bordes de los orificios sobresalen y dan la forma de 'gota de agua'. Las perforaciones quedan separadas 50 mm una de otra y la distancia entre dos líneas de perforaciones es de 25 mm. El cincel tiene 15 mm de diámetro exterior; en su punta se reduce hasta 9 mm y su longitud es de 12 mm.

### **Poleas**

Ver Lámina 12 (pág. 77)

Las poleas de la rallandería se fabrican localmente. Una polea se compone de un buje, de los radios y del aro exterior. El buje de hierro se ajusta con tornillos prisioneros al eje de transmisión. Los brazos o radios de la polea son varillas de hierro soldadas entre el buje y la parte exterior de la polea; ésta se hace con una platina doblada y soldada para formar el aro sobre el cual trabaja la banda plana de transmisión de potencia. Se usan mucho también las poleas de aluminio, las cuales se consiguen en los almacenes de los centros urbanos.

### **Máquinas instaladas**

Todos los equipos presentados en este manual funcionan actualmente en muchas rallanderías del departamento del Cauca. Las pequeñas fábricas de almidón agrícola, cuya capacidad llega hasta 1 t de producto por hora, se han desarrollado gracias a los siguientes factores:

- sencillez del diseño y fácil mantenimiento de los equipos;
- disponibilidad de mecánicos rurales capacitados en la zona de producción;
- innovaciones aportadas en los últimos años por los procesadores, los técnicos y los profesionales de las instituciones de investigación interesadas en el sector.

La introducción de los canales de sedimentación y la posición de los equipos a diferente nivel en el terreno —para aprovechar la gravedad en la carga de los equipos y en la evacuación de subproductos— han mejorado las condiciones de trabajo de los operarios y el rendimiento del proceso.

La seguridad de los operarios puede convertirse actualmente en un problema si no se mejora el sistema de transmisión de los equipos. El montaje de un motor eléctrico para cada máquina podría ser una solución. La información reunida hasta hoy permite recomendar las siguientes potencias:

- Lavadora-peladora: 1.1 kW (1.5 HP)
- Rallo: 3.7 kW (5.0 HP)
- Coladora (unidad): 1.1 kW (1.5 HP)

Los frecuentes cortes de energía en la zona rural de las rallanderías colombianas apoyan la conveniencia de instalar en ellas un motor a gasolina, además de los eléctricos, o una planta generadora de energía.

El agua que requiere el proceso de extracción de almidón constituye otro problema grave que debe continuar en investigación. Primero, el consumo de agua (hasta 20 m<sup>3</sup>/t de raíces) es muy alto y las aguas residuales que genera el proceso contaminan las corrientes de agua de la zona. Segundo, el agua utilizada, que proviene de los ríos y nacimientos de los alrededores, es abundante en la época de lluvias pero escasa en el verano, hasta el punto de que obliga a veces a los operarios a suspender el proceso.

Se han estudiado dos posibles soluciones: una, usar hidrociclones para concentrar la lechada y devolver parte del agua a las coladoras; otra, reutilizar el agua de lavado y el agua que sale de los canales de sedimentación. Ahora bien, estas soluciones implican el uso de otros elementos (motobombas, filtros, tuberías, tanques de decantación) que son difíciles de adquirir, dada la capacidad económica limitada de los procesadores.

# **Amidon Aigre de Manioc en Colombie**

Tome 2

Unité de production: Description et  
plans des équipements



## Avant Propos

La production d'amidon à petite échelle en zone rurale est une voie traditionnelle de valorisation du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) en Amérique Latine, en particulier au Brésil, en Colombie, en Equateur et au Paraguay. Cette activité s'appuie sur des petites unités artisanales d'extraction (entre 125 et 625 kg de racines par heure). L'amidon est fermenté naturellement avant séchage pour produire de l'*amidon aigre* utilisé principalement pour la fabrication d'aliments traditionnels. Dans le sud du Brésil, à côté de ces petites unités produisant essentiellement de l'amidon aigre de manioc, il existe une production importante d'amidon natif, extrait à l'échelle industrielle (de 50 à 500 tonnes de racines fraîches par jour).

Cette activité d'extraction d'amidon de manioc à petite échelle a un impact socio-économique important dans ces zones rurales, en valorisant localement les productions de manioc des agriculteurs, en apportant une valeur ajoutée à ces productions et en stabilisant une main d'œuvre locale. La région du nord du Cauca en Colombie illustre bien cette agro-industrie rurale, avec quelques 200 entreprises. Environ 12 000 tonnes d'amidon aigre de manioc sont extraites par voie humide annuellement et valorisées sur le marché national. L'apparition progressive de la mécanisation de ce procédé remonte aux années 60 pour répondre à une demande croissante de produits traditionnels sur les marchés urbains. Les équipements d'extraction, s'ils ont connu quelques améliorations par les utilisateurs ou les constructeurs locaux d'équipements, ont dans leur conception générale peu évolué depuis cette époque.

Diverses études socio-économiques réalisées en 1988 et 1989 ont mis en évidence les besoins de recherche, d'améliorations et de transfert de technologies pour développer cette activité de transformation du manioc dans cette région. Les actions prioritaires ont été regroupées en différents axes de recherche:

- augmenter les rendements des machines;
- améliorer la qualité de l'amidon;

- maîtriser les étapes de fermentation et de séchage;
- optimiser la distribution des différentes opérations unitaires;
- diminuer les consommations d'eau et les rejets d'effluents;
- renforcer la sécurité des opérateurs;
- diminuer la pénibilité du travail;
- valoriser les sous-produits et effluents.

Le projet mis en place en 1988 *Production et utilisation d'amidon de manioc en Amérique Latine* entre le CIRAD et le CIAT s'inscrit dans ce contexte. Pour le mener à bien, diverses collaborations ont été recherchées, dans un souci à la fois de mobiliser des compétences locales complémentaires et de bénéficier de diverses expériences latino-américaines. Le projet a associé en particulier l'Université del Valle, l'Université Autonome d'Occident de Cali, CETEC et COAPRACAUCA en Colombie; EPN, FACE, FUNDAGRO et UATAPPY en Equateur; CERAT-UNESP au Brésil.

Les travaux, qui ont été conduits en étroite collaboration avec les acteurs de la filière, ont porté plus particulièrement sur les axes de recherche suivants: optimisation des équipements existants, développement de nouvelles techniques, ergonomie et distribution des machines au sein des unités et utilisation de la gravité pour optimiser les flux d'eau et de matière. L'aspect "coût de l'équipement ou du procédé" a toujours été une contrainte prise en compte pendant le projet.

Deux grands sauts technologiques peuvent être relevés: l'adoption de canaux de sédimentation et de la distribution des équipements utilisant la déclivité du terrain (respectivement pour une trentaine et une quinzaine d'unités, lors d'une enquête réalisée en 1995).

Dans le souci d'informer les producteurs de cette région de Colombie aux résultats des travaux conduits avec leur concours, diverses réunions de restitution d'information ont été organisées tout au long de ce programme de

recherche. Un *document de vulgarisation* destiné aux producteurs a été édité en décembre 1995.

Afin de répondre aux nombreuses demandes en Amérique Latine ou au niveau international sur la technologie de production de l'amidon de manioc, le CIAT et le CIRAD en accord avec les différents participants du projet ont décidé de publier un *ouvrage en deux tomes* dans le cadre de leur mission de diffusion d'informations et de transfert de technologie.

Le premier (*Amidon aigre de manioc en Colombie. Tome 1: Production et recommandations*) décrit le contexte technologique et économique en Colombie pour l'obtention d'amidon aigre de manioc. Le second tome veut répondre aux attentes technologiques d'investisseurs ou de constructeurs d'équipements. Une unité modèle d'une capacité de traitement maximale de 625 kg de racines par heure, est présentée: génie civil, diagramme de flux, distribution, puissance des moteurs, nature des matériaux, évacuation des effluents. La conception générale de cette unité reprend les derniers développements qui ont été mis en œuvre au

sein d'une unité pilote construite à Siberia (Cauca, Colombie) avec l'appui technique et financier de l'ONG CETEC. Les plans de détail des divers équipements sont également donnés.

Nous espérons que le caractère technique de cet ouvrage puisse contribuer à la diffusion des résultats de 10 ans de travaux en étroite collaboration entre les transformateurs de cette région du Cauca, des institutions de formation, de recherche et d'appui au développement. Les expériences réussies de transfert de cette technologie menées par le CIRAD et le CIAT (au Paraguay, en Equateur, au Honduras, au Nicaragua, au Pérou, en Côte d'Ivoire, au Bénin, en Guyane française, en Guadeloupe) et par UNIVALLE et CETEC en Colombie ont été un élément moteur pour la réalisation de cet ouvrage.

Ce volume permet de disposer aujourd'hui d'un jeu de plans complets pour la réalisation d'une unité optimisée. Il s'appuie sur l'expérience accumulée en Colombie tout au long de cette activité de recherche, elle même intégrée dans un vaste programme mené par le CIRAD sur la valorisation du manioc.

*Gérard Chuzel*  
CIRAD

*Rupert Best*  
CIAT

*Dany Griffon*  
CIRAD

# Procédé et Équipements

## Description Générale du Procédé

Le procédé consiste en une extraction de l'amidon par voie humide, suivie d'une fermentation puis d'un séchage solaire (figure 1). Les principales opérations successives sont les suivantes:

- lavage et épluchage des racines
- râpage des racines épluchées

- extraction du "lait d'amidon"
- sédimentation des grains d'amidon
- fermentation
- séchage au soleil

Le schéma de la figure 2 illustre les différentes étapes du procédé. La figure 3 présente une vue en perspective de l'installation.

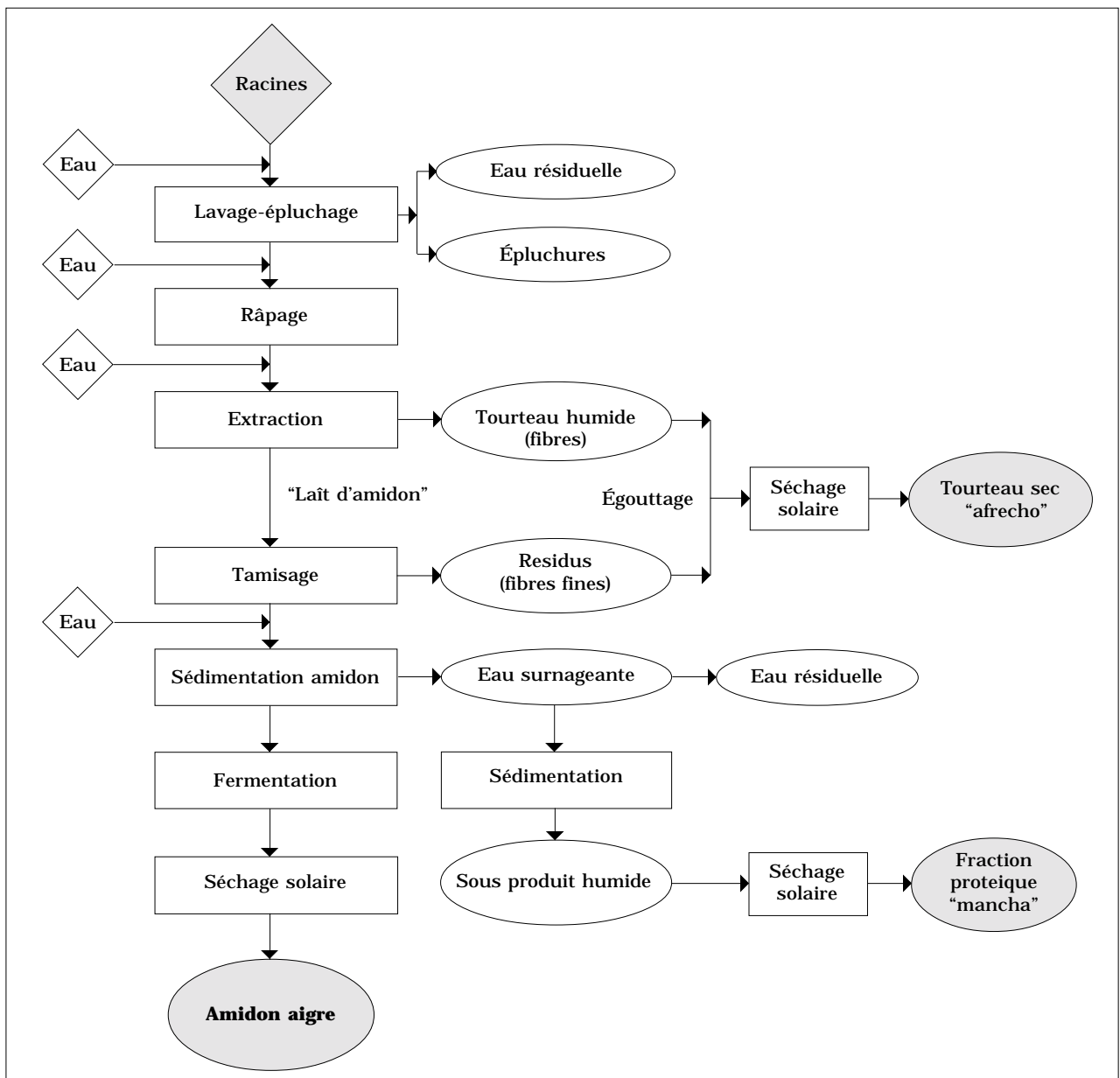


Figure 1. Flow-sheet du procédé.

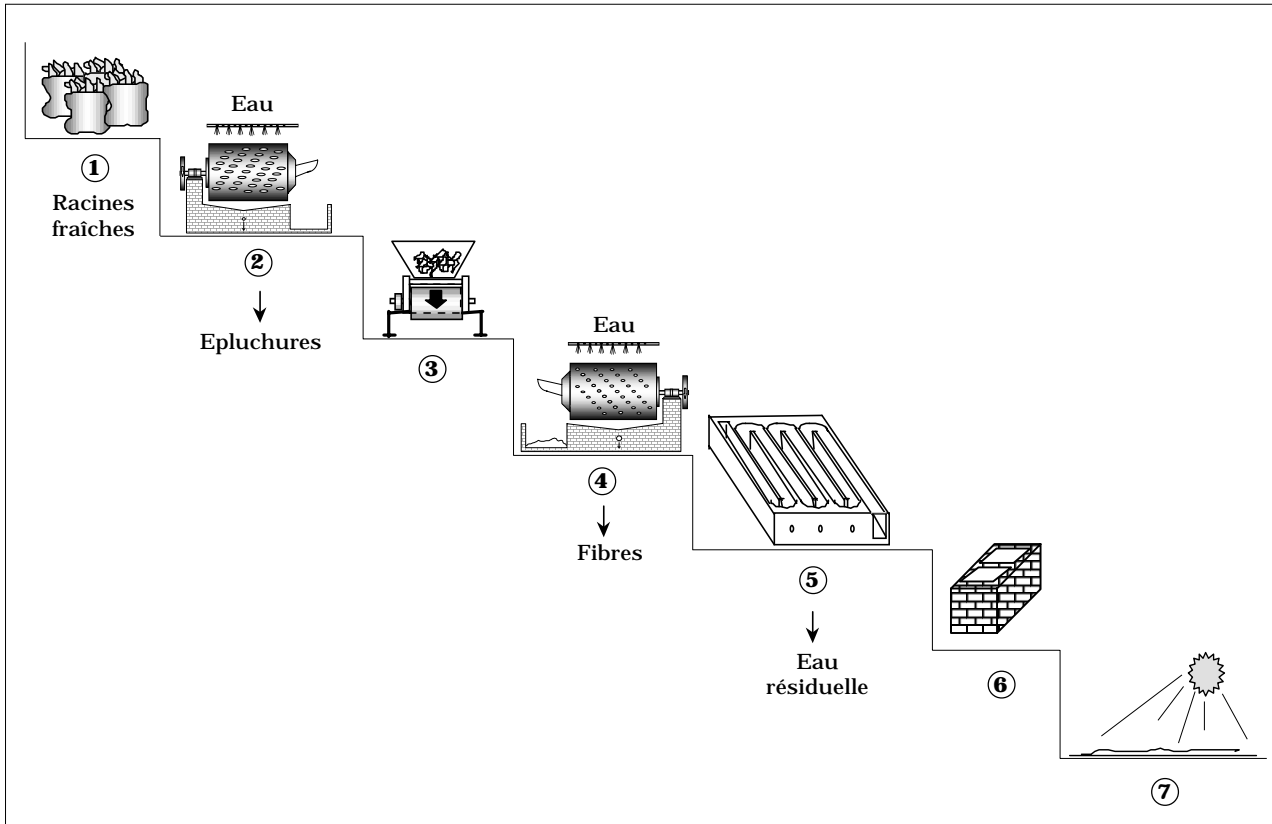


Figure 2. Schéma de l'installation (avec utilisation de la gravité pour les transferts). 1 = Réception des racines fraîches, 2 = Laveuse-éplucheuse, 3 = Râpe, 4 = Tamis extracteur d'amidon, 5 = Canaux de sédimentation, 6 = Tanks de fermentation, 7 = Aire de séchage.

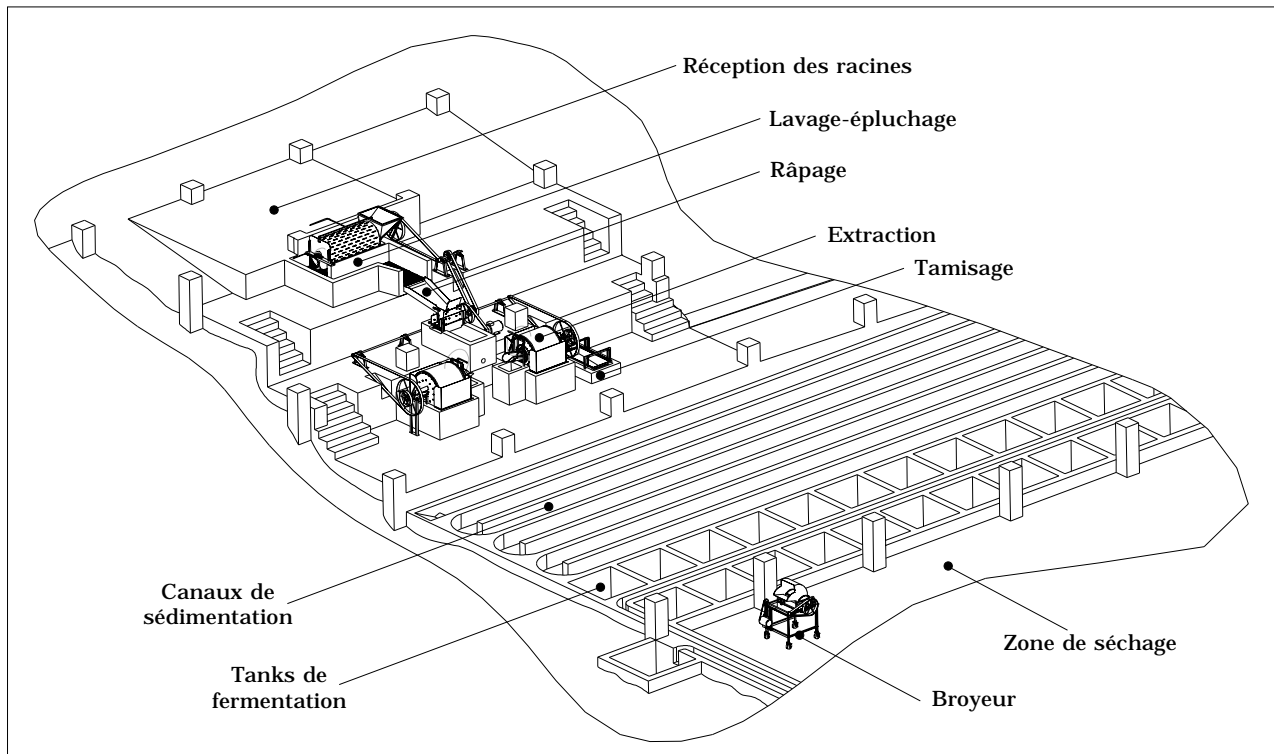


Figure 3. Dessin de l'installation.

## Description Fonctionnelle de l'Unité

Voir Planche 1 (page 65)

### Opérations du procédé

#### Réception des racines fraîches

Les racines sont amenées sur le site de transformation dans des sacs d'environ 100 kg. Ces derniers sont posés en tas en amont de l'unité sur une aire bétonnée et couverte.

#### Lavage-épluchage des racines

L'opérateur dépose les racines dans la trémie de la laveuse-éplucheuse; elles pénètrent dans le cylindre tournant. Un arrosage en continu à l'intérieur du cylindre favorise l'élimination des impuretés (terre) et leur évacuation. La peau est enlevée par friction des racines entre elles et par frottement sur l'intérieur du cylindre. Les épluchures passent au fur et à mesure à travers des ouvertures réalisées sur le cylindre et sont évacuées avec les impuretés. Lorsque l'opérateur juge que l'opération est terminée, il ouvre la trappe de sortie libérant les racines qui tombent sur un caillebotis métallique.

Le mélange d'eau, d'impuretés et d'épluchures se déverse, via des canalisations intégrées dans le béton, sur une aire d'égouttage située à l'extérieur du bâtiment. Les épluchures sont enlevées régulièrement et servent de fertilisant pour les champs environnants (café, manioc ...).

#### Râpage des racines

A l'aide d'une pelle, l'opérateur dirige les racines, du caillebotis de la laveuse vers le tambour de la râpe. Une goulotte de liaison favorise le passage entre les deux machines. L'abrasion des racines sur la tôle du tambour occasionne la désintégration des cellules afin de libérer les grains d'amidon et faciliter l'étape d'extraction. Le râpage se fait sous arrosage, ce qui permet un meilleur transfert de la pulpe chargée d'amidon vers l'extracteur. Un espace tampon recueille cette pulpe avant l'étape suivante.

#### Extraction du "lait d'amidon"

Au cours de cette opération, on sépare les grains d'amidon de la pulpe grâce à un lavage à l'eau. L'opérateur libère la pulpe présente dans l'espace tampon de la râpe; elle s'écoule par une goulotte pivotante (position chargement) dans le cylindre rotatif de la machine. On travaille donc par batch. Le "lait d'amidon" passe au travers d'une toile et au cours des rotations successives, il s'éclaircit de plus en plus, jusqu'au moment où l'opérateur décide d'interrompre l'opération. A ce moment là, il oriente la goulotte en position vidange et les résidus (fibres) sont déversés dans un canal les amenant à un bac d'égouttage. Au bout de quelques jours, ces derniers sont étalés sur des aires bétonnées et séchés au soleil. Ils seront commercialisés pour l'alimentation du bétail.

#### Tamisage du "lait d'amidon"

Le "lait d'amidon" issu de l'extracteur rotatif, s'écoule vers un tamiseur plan, légèrement incliné et animé d'un mouvement de va et vient. Il traverse les mailles du tamis, ce dernier retenant les fibres de pulpe les plus fines qui étaient passées au travers du tissu du cylindre d'extraction. Ces dernières sont dirigées vers le bac de stockage des résidus, mélangées avec les autres, et serviront donc à l'alimentation animale.

#### Sédimentation

Le "lait d'amidon" est acheminé par l'intermédiaire de tuyauteries, vers le canal de sédimentation. Le principe de sédimentation consiste en une précipitation sélective de la suspension d'amidon en mouvement. La longueur du canal et la vitesse du courant sont suffisantes pour permettre la sédimentation des grains d'amidon sans pour cela avoir un mélange avec les particules plus légères (protéines, fibres, impuretés ...). Il convient d'ajuster le débit pour avoir une bonne sédimentation de l'amidon et ne pas en perdre en sortie de canal. Du fait de la précipitation sélective en fonction de la densité, ce système permet également de différencier les qualités d'amidon tout le long du canal.

On retrouve à la fin des canaux des particules de "sous-produit" riches en protéines, à sédimentation plus lente et qui sont déversées avec l'eau en circulation dans un

bac de décantation où elles seront récupérées. Elles sont ensuite séchées sur des aires bétonnées et servent à l'alimentation animale.

L'opération de sédimentation se fait donc en continu et sur plusieurs jours. En effet, il est possible de laisser l'amidon en place en fond de canal car il se solidifie rapidement. En fin de journée, il suffit de laisser un film d'eau en surface. Au début de la journée de travail suivante, il faut passer une raclette en surface de la couche, pour pousser en bout de canal, les particules de "sous-produit" et éviter ainsi que de l'amidon ne les recouvre.

Pour extraire l'amidon des canaux, les opérateurs utilisent des outils en bois et raclent le fond carrelé. La couche d'amidon se détache et se casse en blocs qui sont transportés avec des seaux dans les tanks de fermentation.

Au début d'une nouvelle campagne de sédimentation, il est important de faire circuler de l'eau à partir de la fin du canal (une alimentation est d'ailleurs prévue). En effet, cela empêche que le "lait d'amidon" ne se déplace trop rapidement et que l'amidon ne se dépose trop loin.

### **Fermentation**

L'amidon déposé dans les tanks de fermentation y séjournera environ un mois. Une lame d'eau le recouvre; on ajoute un peu d'eau de fermentation antérieure pour déclencher le processus.

### **Séchage**

L'amidon fermenté forme une masse très compacte. Il est extrait des tanks sous forme de blocs, à l'aide de pelles. L'humidité du produit est alors d'environ 40%-42% d'H<sub>2</sub>O. Pour faciliter l'opération d'étalement et de séchage, on peut utiliser un broyeur qui éclatera les blocs. On l'étalement ensuite sur une aire bétonnée en couche variant de 1 à 2,5 kg au m<sup>2</sup> en fonction de l'ensoleillement. Régulièrement l'amidon est brassé à l'aide d'un râteau pour accélérer le séchage. Il sera mis en sacs en vue de sa commercialisation lorsque l'humidité sera descendue à environ 12%-14% d'H<sub>2</sub>O.

### **Utilisation de la gravité**

Afin de diminuer la fatigue des opérateurs et augmenter la production, les matériels sont

installés dans un ensemble de génie civil dit "en gravité" pour favoriser le transfert d'une machine à l'autre.

Voir Planche 1 (page 65) et  
Plans GC-98-100A à GC-98-300B (pages 87-95)

### **Consommation d'eau**

La forte consommation d'eau dans les unités de production d'amidon du Cauca (Colombie) constitue l'un des freins au développement technologique. En moyenne de 15 à 20 m<sup>3</sup> d'eau sont utilisés par tonne de racines pour l'extraction de l'amidon. De 60 à 90 litres d'eau sont nécessaires pour la production d'un kg d'amidon de manioc en Colombie, alors qu'au Brésil les unités les plus performantes utilisent de 15 à 25 litres d'eau par kg d'amidon produit.

En Colombie le problème de l'accès à l'eau est aggravé principalement: en période sèche; du fait de la déforestation (une diminution notable de la ressource en eau est observée dans le temps), par une augmentation de la capacité de production des unités (besoin accru en eau).

Les eaux usées générées par les unités de transformation sont rejetées dans les ruisseaux et rivières avoisinants. La caractérisation des effluents a montré que la demande chimique en oxygène: DCO<sup>1</sup> était voisine de 2000 à 6000 mg par litre d'effluent.

## **Description Technique des Matériels et de l'Unité**

### **Laveuse-éplucheuse de racines**

Voir Planche 2 (page 66) et  
Plans LAV-98-100A à LAV-98-400C (pages 99-126)

La machine est composée d'une trémie d'admission des racines, d'un arbre de transmission, d'un cylindre, d'une trappe de sortie et d'un espace tampon avant râpage. Le châssis principal de la machine est un élément du génie civil. Le fonctionnement est dit en "batch" et le débit est d'environ 1000 kg/h de racines.

1. DCO = demande chimique d'oxygène.

### **Trémie d'admission**

L'opérateur peut déposer dans cette trémie l'équivalent d'un sac soit environ 100 kg de racines. Elle en tôle d'acier d'épaisseur 15/10 mm et est fixée par l'intermédiaire de cornières sur les murs de béton. Un aménagement est prévu pour le passage de l'arbre de transmission.

### **Arbre de transmission**

Il assure l'entraînement du cylindre. Son diamètre est de 60 mm. Il est supporté par deux paliers en fonte à semelle, fixés sur un mur en béton pour l'un et sur un fer UPN (100 x 50 mm) scellé dans le béton pour l'autre. Une poulie plate à bras est fixée sur l'arbre par vis pression.

### **Cylindre de lavage-épluchage**

De diamètre 700 mm et de longueur 1600 mm, il est composé d'une tôle roulée, d'épaisseur 5 mm sur laquelle se trouvent des ouvertures rectangulaires de 120 x 12 mm (14 lignes de 6 ou 7 ouvertures en quinconce sur le diamètre). Il tourne à une vitesse de 40 t/mn. La virole est reliée à chacune de ses extrémités à un moyeu par l'intermédiaire de fers plats. Ces derniers sont inclinés pour favoriser l'introduction des racines. Les deux moyeux sont fixés sur l'arbre par vis pression. Sur la face intérieure du cylindre, quatre fers ronds de diamètre 12 mm sont soudés pour former une hélice. Ils provoquent un mouvement axial qui améliore l'admission, l'agitation et la vidange des racines.

### **Trappe de sortie**

Un demi-disque de tôle (épaisseur 2 mm) est monté avec des charnières sur le fer UPN de 100 x 50 mm et couvre la partie basse du bout du cylindre. Un bras de manoeuvre permet l'ouverture, la fermeture et le blocage en position fermée du demi-disque.

### **Espace tampon de récupération**

À la vidange de la machine, les racines nettoyées et épluchées se déversent sur des grilles formées d'un assemblage de fers carrés de 10 x 10 mm. Ces grilles permettent l'égouttage, le contrôle visuel de la qualité de l'opération et le stockage des racines avant leur passage dans la râpe. Elles sont amovibles pour le nettoyage.

### **Génie civil**

Il est en béton et forme l'ossature de la machine. Des murets cloisonnent la partie épluchage de la partie stockage tampon. Le fond de la partie épluchage est en forme de pyramide renversée dont le sommet se raccorde à une évacuation de 180 mm. La pente de la pyramide *doit être assez importante* pour que les épluchures et les impuretés s'évacuent convenablement sans pour cela augmenter le débit de l'alimentation en eau.

### **Alimentation en eau**

Elle se fait grâce à deux tuyaux situés à l'entrée et à la sortie de l'intérieur du cylindre, près de la tangente supérieure. Le débit mesuré sur site est d'environ 2 à 2.5 litres d'eau par kg de racines fraîches.

#### **Spécifications de la laveuse-éplucheuse**

- Débit en racines fraîches: 1000 kg/h
- Dimension du cylindre: lg 1600 mm, Ø 700 mm
- Vitesse de rotation du cylindre: 40 t/mn
- Débit d'eau nécessaire: 2 à 2.5 litres/kg de racines fraîches

### **Râpe**

Voir Planche 3 (page 67) et Plans RAP-98-100A à RAP-98-400B (pages 129-149)

La machine est composée d'une goulotte d'admission de racines épluchées, d'un châssis mécano-soudé, d'un arbre de transmission, d'un rotor, de carters et d'un génie civil. Elle fonctionne en continu et le débit ramené en racines fraîches est d'environ 1700 kg/h.

### **Goulotte d'admission**

Elle repose sur le génie civil de la laveuse-éplucheuse et est fixée par boulonnage sur le châssis de la râpe. Elle est en tôle d'épaisseur 2 mm.

### **Châssis**

Deux cadres en cornières de 50 x 50 mm sont scellés dans le béton de chaque côté de la machine. Chacun d'entre eux reçoit un palier en fonte à semelle boulonné. Un ensemble

parallélépipédique en tôle d'épaisseur 4 mm forme l'ossature du châssis; il vient se boulonner sur les cadres en cornières. Un capot, pivotant sur charnières, empêche les projections et l'accès intempestif au rotor. Entre une paroi du châssis et ce dernier, une planche en bois d'épaisseur 40 mm est réglable dans le sens vertical (perçages oblongs), afin d'optimiser le râpage par ajustement de l'espace entre celle-ci et le rotor.

### **Arbre de transmission**

De diamètre 40 mm, il est monté sur les paliers et supporte une poulie plate fixée par vis pression.

### **Rotor**

Sur deux flasques circulaires mécano-soudés, des tasseaux de bois de forme trapézoïdale sont boulonnés. Ils forment un cylindre de diamètre 280 mm et de longueur 400 mm, sur lequel est roulée puis clouée une tôle en acier galvanisé d'épaisseur 8/10 mm. Au préalable, cette dernière a été coupée puis perforée par repoussage de matière, afin de créer une surface agressive. Le rotor est fixé par vis pression sur l'arbre de transmission. L'ensemble tourne à une vitesse de 1800 t/mn.

### **Carters**

Ils sont en bois ou en tôle, placés sur les cotés de la machine pour limiter les projections de pulpe; ils sont facilement amovibles afin de faciliter le nettoyage.

### **Génie civil**

Des murets ceinturent la machine et supportent les cadres sur lesquels sont fixés les paliers. Un espace tampon est aménagé pour recevoir un "batch" de pulpe équivalent à un passage dans l'extracteur. Grâce à un tuyau PVC pivotant, l'opérateur peut envoyer ce "batch" dans l'un ou l'autre des extracteurs.

### **Alimentation en eau**

Elle se fait grâce à un tuyau situé sur le dessus du rotor. Le débit est d'environ 1 litre d'eau par kg de racines fraîches.

### **Spécifications de la râpe**

- Débit (ramené en racines fraîches): 1700 kg/h
- Dimension du rotor: lg 400 mm, Ø 280 mm
- Vitesse de rotation du rotor: 1800 t/mn
- Débit d'eau nécessaire: 0.8 à 1 litre/kg de racines fraîches

### **Extracteur de "lait d'amidon"**

Voir Planche 4 (page 68) et Plans EXT-98-100A à EXT-98-700C (pages 153-198)

L'extracteur est installé sur un élément de génie civil. Ce dernier supporte l'ensemble de la transmission. On trouve également comme élément principal, une goulotte pivotante, le cylindre d'extraction, une alimentation en eau et des carters amovibles. Le fonctionnement est en "batch" et le débit est de 275 kg/h ramené en kg de racines fraîches. Son faible débit amène souvent à l'implantation de deux machines en parallèle dans une unité.

### **Transmission**

Un châssis en cornières est scellé dans le béton et vient recevoir par boulonnage une "boîte à roulements". Deux roulements à deux rangées de rouleaux à rotule y sont montés et maintiennent un arbre de transmission de 50 mm. Un système de réglage du jeu axial est prévu. L'arbre comporte un épaulement à l'une de ses extrémités et une poulie plate à bras fixée par vis pression sur l'autre. Le cylindre d'extraction sera boulonné en porte à faux sur l'épaulement de l'arbre.

### **Cylindre d'extraction**

Le cylindre d'extraction est de diamètre extérieur 980 mm et de longueur 870 mm. Sa vitesse de rotation est de 25 t/mn.

- Un ensemble de trois tôles épaisses circulaires de diamètres différents se boulonne sur le flasque de l'arbre de transmission. La forte épaisseur de ces



tôles (6 et 8 mm) est nécessaire pour avoir une bonne rigidité de l'ensemble mais également pour la fixation des éléments intérieurs du cylindre. Un fer plat roulé, ceinture la tôle de plus grand diamètre et assurera le maintien de la tôle perforée.

- Une tôle compose la paroi du cylindre d'extraction coté admission de la pulpe. Son épaisseur (2 mm) est réduite afin de limiter le poids du porte à faux mais suffisante pour permettre la fixation des éléments intérieurs du cylindre. Une ouverture circulaire est aménagée pour l'admission et la vidange de la pulpe. Un fer plat roulé, ceinture la tôle et assurera le maintien de la tôle perforée.
- A l'intérieur du cylindre on trouve six entretoises en fer rond de 14 et 20 mm. Elles relient les deux parois, agissent sur le brassage de la pulpe et offrent un point de fixation aux "cuillères". Sur six cornières (30 x 30 mm) reliant également les deux parois, sont fixées par boulonnage six jeux de deux palettes symétriques ou "cuillères". Ces dernières sont formées et positionnées de telle façon qu'elles servent à brasser, relever puis relâcher le produit dans le cylindre en fonctionnement normal ou à relever puis relâcher les résidus (fibres) dans la goulotte orientée en position vidange. Elles sont en tôle d'épaisseur 15/10 mm.
- Un élément en bois de section 100 x 20 mm est placé entre les deux cotés du cylindre. Une toile en nylon (voilage domestique, environ 100 Mesh) est l'élément essentiel puisqu'elle filtre le "lait d'amidon". Elle est tendue sur l'extérieur du cylindre, puis clouée sur l'élément en bois. Pour faciliter cette opération, il est utile de la mouiller préalablement. Des essais ont été effectués avec de la toile en coton mais l'on a pu observer de rapides développements de moisissure. L'utilisation de toiles métalliques est possible, mais le coût et l'approvisionnement sont un problème.
- Une tôle en aluminium d'épaisseur 10/10 mm, comportant des perforations en forme de "gouttes d'eau" est positionnée par dessus la toile de tamisage. La fixation est assurée au niveau de l'élément en bois

par deux cornières rivetées sur chaque bout de la tôle et serrées par des boulons.

### **Goulotte**

Elle est en tôle d'épaisseur 2 mm, sur laquelle on rapporte un fer plat. Il est formé et possède des perçages et des goujons pour le maintien en position et la rotation de la goulotte. Elle se positionne sur un cadre lui-même scellé dans le béton. Les deux positions "admission de pulpe" et "vidange" sont indexées grâce à un levier articulé sur le cadre.

### **Génie civil**

Il est composé de murets formant une cuve dans laquelle tombe le "lait d'amidon". Un piquage puis une tuyauterie plastique l'achemine vers le tamiseur plan. A la verticale de la goulotte, un passage de section carrée reçoit les fibres à la vidange.

### **Carters**

Ils sont en tôle de 15/10 mm, reposent sur les murets et récupèrent les projections de "lait d'amidon".

### **Alimentation en eau**

Elle est effectuée grâce à un tuyauterie fixée sur le cadre support de goulotte et qui pénètre axialement dans le cylindre. Le débit mesuré sur site est d'environ 6.5 litres d'eau par kg de racines fraîches.

#### **Spécifications de l'extracteur de "lait d'amidon"**

- Débit en racines fraîches: 275 kg/h
- Dimension du cylindre: lg 870 mm, Ø 980 mm
- Vitesse de rotation du rotor: 25 t/mn
- Débit d'eau nécessaire: 6.5 litres/kg de racines fraîches

### **Tamiseur plan**

Voir Planche 5 (page 69) et Plans TAM-98-100A à TAM-98-300B (pages 201-214)

Pour parfaire le travail de tamisage du "lait d'amidon", en particulier pour éliminer les plus petites fibres, on trouve, dans certaines unités, un tamiseur plan. Il est constitué d'un bac (génie civil) de faible hauteur (environ 300 mm)

sur lequel sont scellées deux potences en cornières (35 x 35 mm). Quatre bouts de courroie plate sont fixés verticalement sur ces derniers et soutiennent un châssis en cornière légèrement incliné, lui même recevant le tamis (dimension 1200 x 600 mm). Le châssis est animé d'un mouvement de va et vient grâce à une biellette reliée à un excentrique fabriqué à partir d'un roulement à billes. Un arbre de transmission (diamètre 25 mm), sur lequel une poulie plate est fixée par vis pression, transmet la rotation (vitesse de rotation de l'arbre 200 t/mn). Il est monté sur deux paliers en fonte à semelle, fixés sur le béton. Le déplacement horizontal du châssis est d'environ 40 mm. Le "lait d'amidon" est récupéré en fond de cuve et se dirige vers les canaux de sédimentation par des tuyauteries enterrées.

### **Transmission générale de puissance**

Voir Planche 6 (page 70) et Plans TRANS-98-100A à TRANS-98-304 (pages 217-230)

Les unités de fabrication d'amidon aigre sont toutes installées dans les zones de production de manioc. En Colombie le réseau électrique est de bonne qualité et dessert des zones assez reculées. Toutefois les intempéries (orages, ...) perturbent régulièrement l'alimentation électrique.

Pour pallier à ce genre de problème, les propriétaires ont fait installer un moteur électrique et un moteur thermique en parallèle pour toute l'unité de production. En cas de coupure électrique, l'opérateur peut rapidement remettre en route l'installation sur le moteur thermique en transférant la courroie de transmission d'un moteur à l'autre. La puissance du moteur électrique est de 5,5 kW (7,5 Ch.) et celle du moteur thermique doit être d'au moins 16 Ch.

Les deux moteurs sont équipés de poulies plates. Le mouvement est transmis par une courroie plate à une deuxième poulie plate solidaire d'un arbre de transmission principal. Il se trouve sur toute la largeur du génie civil afin de desservir toutes les machines suivant le même principe grâce à des arbres et poulies intermédiaires. La laveuse a besoin d'un deuxième arbre parce que sa vitesse de rotation est faible (40 t/mn).

Mais ce système impose des contraintes non négligeables: problèmes de sécurité et de dépendance des machines entre elles. En effet, ce système de transmission par courroies plates et arbres de transmission rend difficile la protection de l'utilisateur qui travaille sans réelles mesures de sécurité. De plus l'hétérogénéité de débit des matériels fait que certains peuvent fonctionner à vide; ceci amène les opérateurs à faire sauter les courroies de leur poulie et les remettre en place si nécessaire en cours de fonctionnement avec l'aide de manches en bois. Cette opération est très délicate et très dangereuse.

### **Canaux de sédimentation**

Voir Planche 7 (page 71) et Schéma 7bis (page 72)

Les canaux de sédimentation permettent un travail en continu sur plusieurs jours. Ils sont en béton et sont revêtus de carrelage pour éviter les infiltrations et favoriser le nettoyage.

Le lait transite dans des tuyauteries enterrées du tamiseur plan vers l'entrée du canal. A cet endroit, on trouve un auget qui va piéger les sables et autres petites impuretés restant dans le "lait d'amidon". Ces particules plus lourdes vont se déposer en fond et le lait va entrer par débordement dans le canal. Les dimensions de la section du canal sont de 600 mm en largeur et de 400 mm en profondeur; la longueur totale est d'environ 180 mètres. Pour un dépôt efficace et pour éviter des turbulences, un canal rectiligne de cette longueur serait idéal. Mais pour des raisons d'encombrement et de réalisation, il est difficile d'envisager d'en avoir un de ce type. On retrouve donc un ensemble formé de sept canaux d'environ 25 mètres de longueur. Leurs extrémités sont reliées en arc de cercle comme sur le schéma 7bis, page 72. Des sorties sont aménagées en bout de chaque arc de cercle pour faciliter l'évacuation des eaux de lavage. En bout du canal on trouve un tank de sédimentation où l'eau va se déverser et se décharger des dernières particules en suspension.

### **Tanks de fermentation**

Ils sont construits en béton le long des canaux de sédimentation et si possible enterrés pour avoir une meilleure inertie thermique. Les

dimensions intérieures sont d'environ 1200 x 1400 x 1200 mm de hauteur. L'intérieur est carrelé pour éviter les infiltrations et favoriser le nettoyage. Un cadre en bois revêtu d'une toile (sacs en toile de jute ou sacs en polypropylène par exemple) sert de couvercle pour les bacs, laissant passer les gaz de fermentation et empêchant l'intrusion d'insectes.

### **Broyeur**

Voir Planche 8 (page 73) et Plans EMOT-98-100A à EMOT-98-203 (pages 233-251)

Pour faciliter la dépose sur l'aire de séchage de l'amidon humide, il est appréciable au préalable de casser les blocs issus des tanks de fermentation. On fait appel pour cela à un broyeur mobile sur roues qui se positionne près de tel ou tel tank.

Il est composé d'un châssis principal en cornières, d'un arbre de transmission, d'un deuxième châssis en cornières soutenant la cage du broyeur, d'un rotor, d'une trémie d'alimentation et d'une tôle perforée. Un moteur électrique de 2,7 kW (3,6 Ch.) équipe ce matériel.

#### **Châssis principal**

Il est fabriqué en cornières de 40 x 40 mm et des roulettes en fonte sont fixées sur chacun des quatre pieds. Des cornières de 25 x 25 mm sont soudées verticalement pour former une glissière pour le moteur.

#### **Arbre de transmission**

De diamètre 25 mm, il est monté dans deux paliers à semelle fixés sur le châssis en cornières. Deux poulies à chacune de ces extrémités permettent de réduire la vitesse de rotation.

#### **Châssis secondaire**

Il est boulonné sur le châssis principal et supporte deux flasques en tôle d'épaisseur 10 mm qui composent la cage du broyeur. Sur ces deux flasques, deux paliers appliqués sont boulonnés.

#### **Rotor**

Il est composé d'un arbre de 40 mm qui se loge dans les deux paliers appliqués. Un

batteur à quatre pales est fixé par vis pression sur l'arbre. Il est composé d'un tube (épaisseur 5 mm) sur lequel sont soudés tangentiellement huit fers plats de 60 x 6 mm. Quatre fers plats de 85 x 20 mm boulonnés forment les quatre pales. Le diamètre circonscrit par les pales est d'environ 420 mm. Une poulie plate est fixée à l'une des extrémités de l'arbre. Sa vitesse de rotation est de 280 t/mn.

#### **Trémie d'alimentation**

Boulonnée sur les deux flasques de la cage du broyeur, elle est en tôle d'acier galvanisé d'épaisseur 15/10 mm. Elle facilite l'introduction des blocs d'amidon humide et préserve des projections en cours de broyage.

#### **Tôle perforée**

Elle est boulonnée sur les mêmes flasques que précédemment. Elle se situe sous le rotor sur un angle de 260°. Son épaisseur est de 15/10 mm et les perforations sont de diamètre 5 mm.

#### **Moteur électrique**

Il est solidaire de la machine et la rend mobile et indépendante du reste de l'unité.

#### **Aire de séchage**

Les surfaces nécessaires sont très importantes car les quantités d'amidon déposées varient de 1 à 2,5 kg au m<sup>2</sup>. Le béton peut être recouvert d'un plastique noir pour accélérer le séchage. Il facilite également le ramassage rapide de l'amidon lorsque le temps devient menaçant.

#### **Bacs d'égouttage et de stockage**

Ces bacs recevant des épluchures et des fibres issues de la laveuse-éplucheuse et de l'extracteur de "lait d'amidon" sont situés en bordure de l'unité. Des tuyaux enterrés relient les machines à ces bacs. Ils sont en béton et de dimensions assez importantes. Pour recevoir les fibres résiduelles de l'extraction, on trouve deux bacs contigus de 5 x 3 x 1,5 m de hauteur. En fond, un caillebotis en bambou est déposé et facilite l'égouttage. Une des deux cuves sert principalement à l'égouttage et l'autre au stockage avant commercialisation. Les fibres ne sont en général pas séchées sur le site de l'unité car la place fait défaut; elles sont

le plus souvent vendues dans l'état et les acheteurs procèdent au séchage, le long des routes par exemple.

## Conception et Réalisation des Matériels

Les intérêts des machines sont les suivants:

- simplicité de construction
- faible coût
- parfaite adaptation aux besoins de l'utilisateur

Toutes les machines de l'unité présentée sont de conception très simple et la maintenance est pratiquement inexistante. Les matériaux employés sont courants. La réalisation peut se faire dans un atelier équipé d'un minimum de machines outils:

- poste à souder et couper oxygène-acétylène
- poste à souder électrique
- perceuse sur colonne
- meuleuse-tronçonneuse
- établi
- étau
- composition d'outillages

## Recommandations pour la fabrication des machines

### Laveuse-éplucheuse

Le cylindre de la laveuse est en tôle d'acier d'épaisseur 5 mm, et comporte une centaine d'ouvertures rectangulaires de 120 x 12 mm. Elle peuvent être effectuées par poinçonnage avant roulage de la tôle par des ateliers disposant de machines outils adaptées. Pour réduire le coût de fabrication (environ de 1/3), il est possible de rouler la tôle, de la souder et de réaliser les ouvertures à l'aide d'un chalumeau. Un ébavurage des coulées est souhaitable. Cette pratique est envisageable car les ouvertures ne nécessitent pas une grande précision dans les dimensions.

## Râpe

Voir Planche 9 (page 74)

Le rotor est composé de deux flasques mécano-soudés. Le disque est découpé au chalumeau, puis ébavuré à la meuleuse. Le fer plat qui le ceinture est formé sur place puis soudé.

Les tasseaux qui sont ensuite boulonnés sur les deux flasques sont issus de bois dur de masse volumique d'environ 900 kg/m<sup>3</sup>. Ils résistent très bien à l'ambiance humide et ne se déforment pas.

La tôle de râpage d'épaisseur 8/10 mm est en acier galvanisé pour éviter l'oxydation. Le développé est découpé dans une feuille de tôle puis posé sur quelques sacs en toile de jute empilés. A l'aide d'un marteau en bois, l'ouvrier frappe sur une pointe de charpente de 5 x 80 mm. La tôle est repoussée formant des perforations agressives. L'espace entre deux lignes est de 12 mm, ainsi que celui entre chaque perforation d'une ligne. La tôle ainsi obtenue est ensuite roulée sur le rotor en tasseaux de bois. Au niveau de la jonction, la tôle se chevauche sur environ un centimètre et des pointes assurent la fixation. Quelques pointes sont enfoncées de part en part sur le cylindre pour parfaire le maintien.

## Extracteur de "lait d'amidon"

Voir Planches 10 et 11 (pages 75-76)

L'arbre de transmission, monté sur les machines, est un demi arbre de roue de camion de récupération. Sa longueur est ajustée à la demande.

Il est maintenu par deux roulements à deux rangées de rouleaux à rotule montés dans un boîtier. Les roulements sont des roulements à rouleaux coniques de récupération et un système de rattrapage de jeu sur les bagues intérieures maintient axialement l'arbre en position. Le boîtier est fait à partir d'un tube "construction mécanique" dont une partie est découpée puis montée sur charnières pour

former un capot. Les roulements sont montés dans deux alésages réalisés avec du fer plat et soudés dans le boîtier. Un barbotage dans un fond d'huile assure le graissage de l'ensemble.

La tôle perforée qui recouvre la toile de filtration du lait est en tôle d'aluminium d'épaisseur 10/10 mm. Ce matériau a été choisi pour sa bonne tenue à la corrosion et la facilité avec laquelle il peut être travaillé. Le développé de tôle est posé sur une planche en bois et les perforations sont faites à l'aide d'un pointeau et d'un marteau. Un disque de 10 mm de diamètre est découpé à chaque coup de marteau et les bords sont repoussés pour former des trous en forme de "goutte d'eau". Le pointeau est de diamètre 15 mm, se réduisant en bout à 9 mm sur une longueur de 12 mm. Les perforations sont réalisées tous les 50 mm et l'espace entre deux lignes est de 25 mm.

### **Poulies**

Voir Planche 12 (page 77)

Les poulies de l'unité sont en général mécano-soudées. Un moyeu est alésé au diamètre de l'arbre et un ou deux taraudages radiaux sont usinés pour l'implantation de vis pression. Les bras sont en fer rond et sont soudés entre le moyeu et un fer plat roulé-soudé formant l'extérieur de la poulie. Pour les petits diamètres, on trouve le plus souvent des poulies de récupération en aluminium.

### **Machines installées**

Toutes les machines présentées dans ce document fonctionnent aujourd'hui dans un

nombre important d'unités en Colombie. Leur fiabilité et les améliorations apportées ces dernières années ont permis l'émergence de petites agro-industries en zone de culture de manioc. L'introduction des canaux de sédimentation et de l'utilisation de la gravité ont amélioré les conditions de travail des opérateurs. A ce jour, pour des problèmes de fonctionnement et de sécurité des utilisateurs, il faudrait envisager une alternative pour les transmissions. Le montage d'un moteur électrique sur chaque machine serait une solution. Les renseignements pris nous permettent de conseiller les puissances suivantes:

- laveuse-éplucheuse: 1,1 kW (1,5 Ch.)
- râpe: 3,7 kW (5 Ch.)
- extracteur: 1,1 kW (1,5 Ch.)

Cela ne résout en rien le problème de l'alimentation électrique sur site. En cas d'indisponibilité réseau, il serait donc à envisager l'installation d'un groupe électrogène qui pourrait prendre le relais.

L'eau utilisée dans les unités provient de torrents environnants. Les améliorations apportées sur les machines ont permis de limiter la consommation d'eau sur chacune d'entre elles. Mais elle reste encore trop élevée. En effet, l'eau issue des unités entraîne une pollution non négligeable des cours d'eau situés en aval. Des possibilités de réutilisation des eaux (de lavage et de sortie de canal par exemple) sont à envisager mais induisent de nouveaux composants (pompes, filtres, tuyauteries, bacs de décantation ...).

# **Cassava Sour Starch in Colombia**

Volume 2

Processing plant: Description, plans,  
and layout

# Foreword

Small-scale starch production in rural areas is a traditional activity that adds value to cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in Latin America, particularly in Brazil, Colombia, Ecuador, and Paraguay. This activity is carried out by small artisanal units that process between 125 and 625 kg of fresh roots per hour. The starch, which is usually fermented naturally before drying to produce 'sour starch', is used mainly for preparing traditional foods. In Southern Brazil, cassava starch is not only produced as cassava sour starch on an artisanal scale, but also as unfermented starch produced in considerable quantities on an industrial scale, that is, by factories that can process between 50 and 500 tons of fresh roots per day.

Small-scale cassava starch extraction has significant social and economic impact on rural areas because it can add value to cassava production for farmers in a given locality, stabilizing supply and creating demand for labor. The northern Cauca region of Colombia provides a good example of this rural agroindustry. The area has almost 200 artisanal enterprises that produce about 12,000 tons of cassava sour starch annually for the national market by means of a wet extraction process. The progressive mechanization of the extraction process began in the 1960s in response to growing urban markets for traditional products. Extraction equipment, however, has evolved very little since, except for some improvements introduced by users themselves or local manufacturers.

Various socioeconomic studies conducted between 1988 and 1989 with a view to developing cassava-processing activities in the region, pointed to the need for research on improving cassava varieties and transferring technologies. The following areas of research were given priority:

- Increasing machine productivity
- Improving starch quality
- Controlling fermentation and drying

- Optimizing the distribution of different operational units in the plant
- Reducing water consumption in the plant and the discharge of effluents into water ways
- Improving plant worker safety and well-being
- Assessing the value of byproducts and effluents

In 1988, CIRAD and CIAT initiated a project, *Production and Use of Cassava Starch in Latin America*, some of whose results are the subject of this text. During the project's execution, cooperation with other institutions was promoted to take advantage of complementary local capacity and, at the same time, benefit from the multiple experiences acquired in this field Latin America. Accordingly, the project involved the Universidad del Valle, the Corporación Universitaria Autónoma de Occidente (in Cali), CETEC, and COAPRACAUCA, all in Colombia; the EPN, FACE, FUNDAGRO, and UATAPPY in Ecuador; and the CERAT-UNESP in Brazil.

The research was developed in close collaboration with the actors of the production chain and focused mainly on the following above-mentioned areas: optimization of existing equipment, development of new techniques, ergonomics, and the distribution of the machinery within the production plant to optimize water flows and movements of raw material. The aspect of "equipment or process costs" was a permanent constraint throughout the project. The project achieved two major technological advances: the use of sedimentation channels and the distribution of equipment to take advantage of gradients in the terrain. A survey in 1995 showed that the use of sedimentation channels had been adopted by 30 artisanal plants and that 15 plants had re-distribution machinery to make use of gravity.

Several *meetings* were organized throughout the project to inform starch

processors of the Cauca region of results from the research projects in which they had participated. In December 1995, a *short publication* directed to processors about their industry was published. The interest in cassava sour starch production technology was such that it spread to several Latin American countries and to other continents. This demand encouraged CIAT and CIRAD, with the agreement of the other project members, to publish this *work in two volumes*, thereby fulfilling the goal of disseminating information and transferring technology.

The first volume, *Cassava Sour Starch in Colombia. Volume 1: Production and Recommendations*, describes the technological and economic context in which cassava sour starch is processed in Colombia. This second volume responds to the technological expectations of investors and machinery manufacturers. It presents a model production plant, whose maximum capacity is 625 kg of fresh roots per hour. The principal aspects examined include civil engineering, flow charts, distribution in the plant, waste discharge, motor power, and characteristics of materials. This volume incorporates the most recent advances already installed in a pilot plant built in Siberia (Cauca, Colombia), with technical

and financial support from CETEC, a non-governmental organization of the agroindustrial sector. This volume also provides detailed plans of the equipment that was installed in that plant.

The technical orientation of this second volume will contribute further to the dissemination of the results obtained from 10 years of work carried out in close collaboration with the cassava-starch producers in Cauca and with research and development and educational institutions. CIRAD and CIAT carried out the transfer of technology in Paraguay, Ecuador, Honduras, Nicaragua, Peru, Côte d'Ivoire, Benin, French Guiana, and Guadeloupe, and UNIVALLE and CETEC in Colombia. The successful transfer of technology to these countries was an essential element both of the work undertaken and of this volume.

The completion of this volume therefore means that a complete set of plans for installing an optimal model of a cassava starch-processing plant is now available. This model contains the entire experience in Colombia accumulated throughout CIRAD's larger Cassava Assessment Project.

*Gérard Chuzel*  
CIRAD

*Rupert Best*  
CIAT

*Dany Griffon*  
CIRAD



# Process and Equipment

## General Description of the Process

Wet cassava sour starch extraction consists of a series of operations to extract starch from cassava roots, using water (Figure 1). This starch then undergoes natural anaerobic fermentation, before sun drying. Wet extraction is carried out in the following sequence:

- Reception of cassava roots
- Root washing and peeling
- Root grating
- Separation of the starch milk
- Screening of the starch milk
- Sedimentation
- Fermentation
- Sun drying
- Sifting and packing of dry sour starch

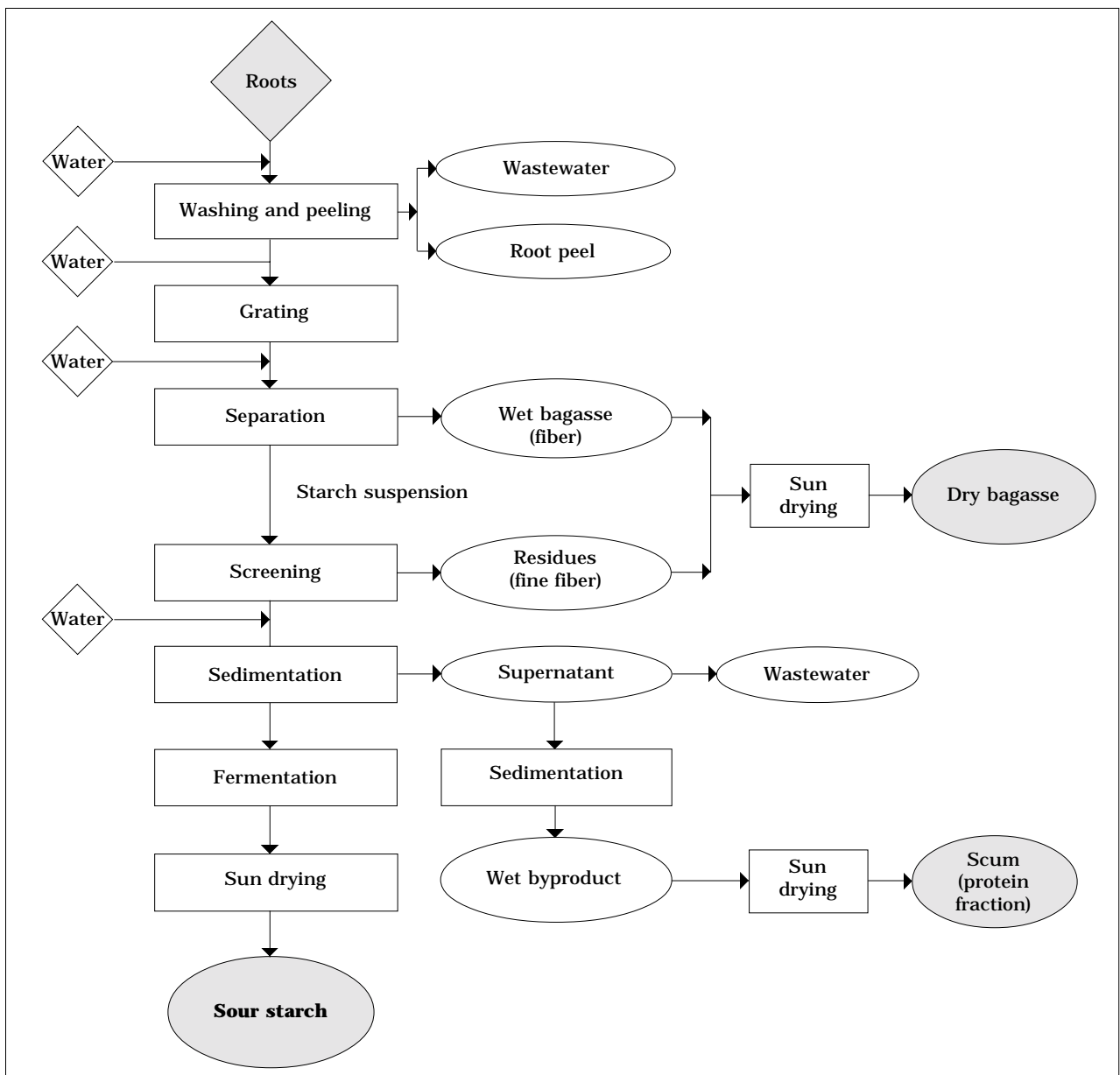


Figure 1. Flow chart of the wet extraction of cassava sour starch.

Figure 2 illustrates the cassava starch extraction process, and Figure 3 presents a technical drawing of the facilities.

## Functional Description of an Artisanal Starch-Extraction Plant

See Plate 1 (page 65)

### Steps in the extraction process

#### Reception of cassava roots

Fresh cassava roots arrive in sacks at the artisanal starch extraction plants known as “rallanderías”. These sacks, weighing between 80 and 90 kg, are placed under cover, on a concrete floor located near the root-washing machine so as to minimize fatigue in the machine operators.

#### Root washing and peeling

Workers empty the sacks containing roots into the washing machine's feed hopper, located

to one side of the machine's rotating cylinder or drum. Once in the drum, the roots are sprayed with water to wash off soil and other dirt and to facilitate the evacuation of the waste. The “casarilla”, or the thin, coffee-colored skin adhering to the roots, is removed by friction of the roots against each other and against the drum's internal walls. The thin peel passes through orifices in the drum and is evacuated, together with other dirt.

When workers consider that the roots are clean and all peel has been removed, they open the retention hatch, located in the side of the drum opposite to that of the feed hopper. The roots then fall into a holding area, the floor of which has grid to allow drainage of the excess water. The holding area leads to the hopper for the grater.

The wash water containing dirt and peel is collected in a brickwork structure and is led by pipes toward a filtering area, where the peel is recovered. The peel is left in heaps, out in the open, until it decomposes and can be used as compost for crops, mostly of coffee, cassava, and banana.

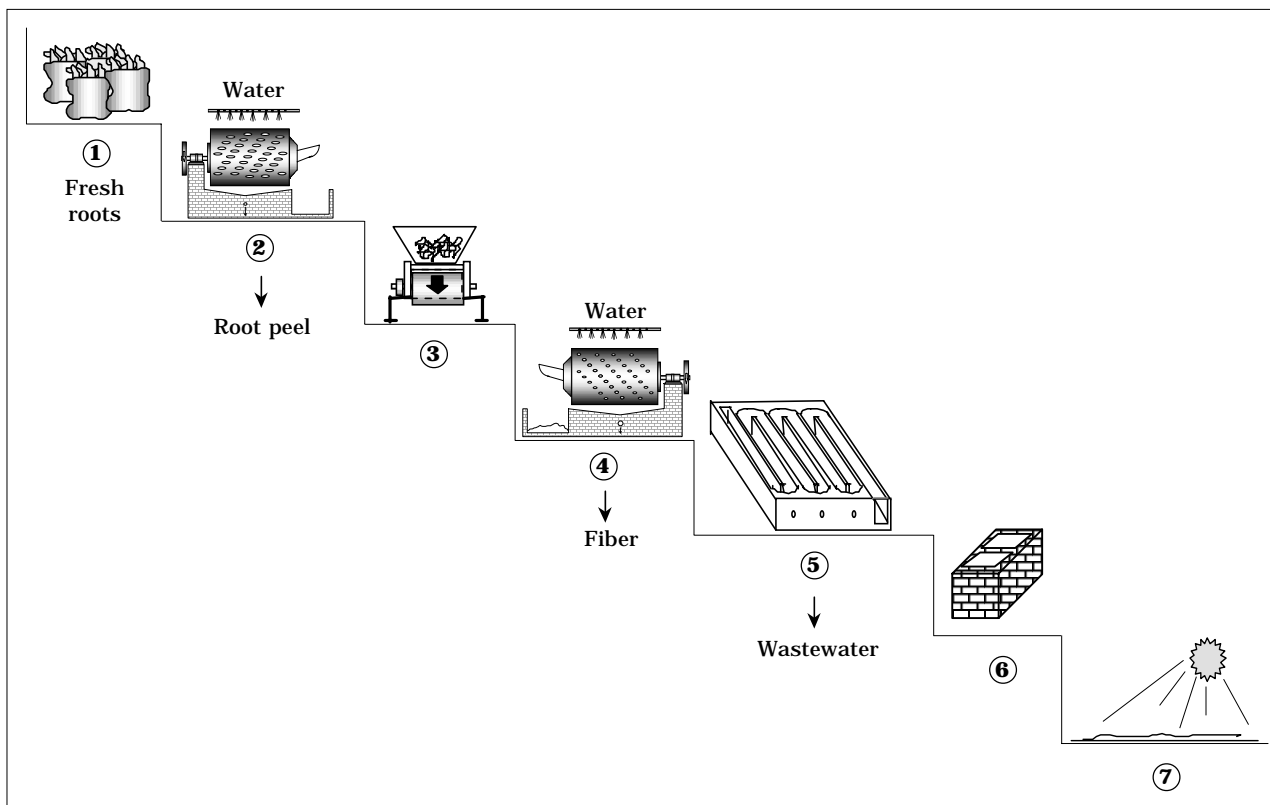


Figure 2. Schematic representation of a plant that uses gravity to extract cassava starch. 1 = reception of roots, 2 = washing machine, 3 = grater, 4 = separators, 5 = sedimentation channels, 6 = fermentation tanks, 7 = drying area.

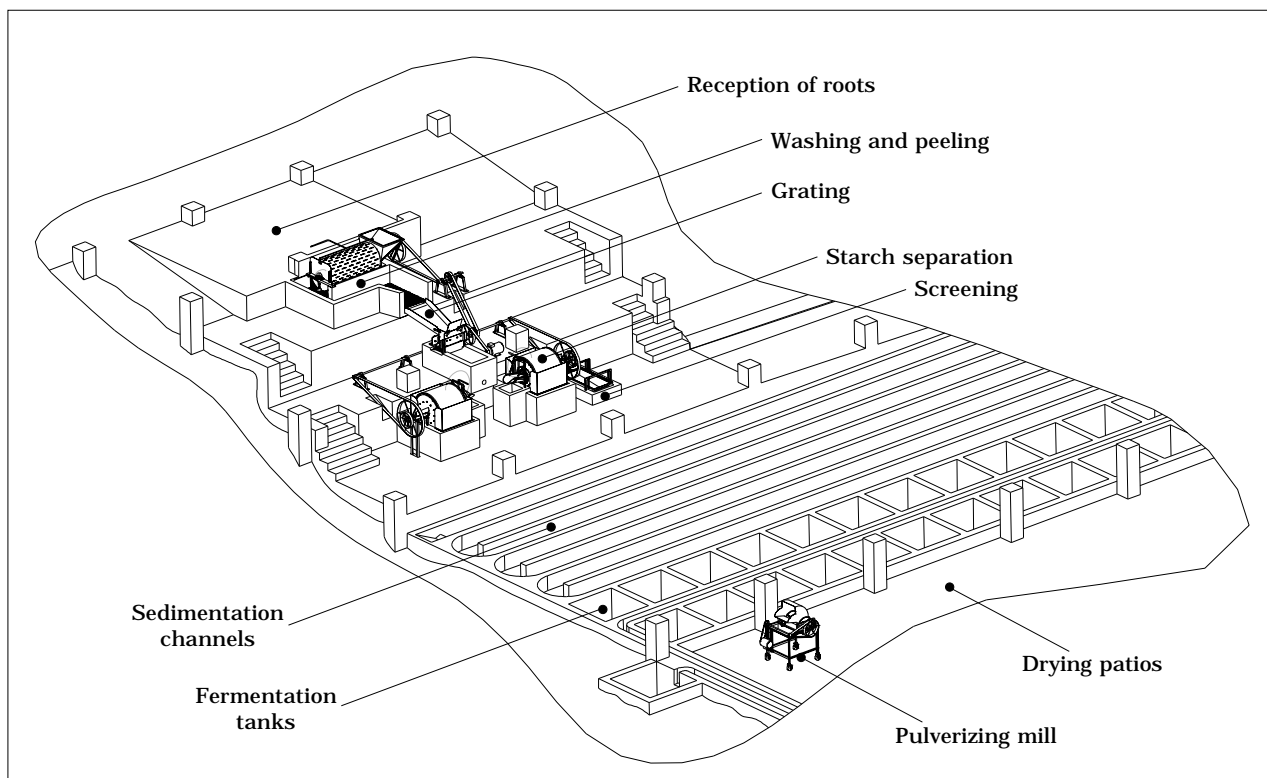


Figure 3. Design of the physical plant where cassava starch is extracted.

### **Grating the roots**

Workers push the roots from the holding area into the grater's hopper. The hopper is in the form of a chute that facilitates movement of roots between the two machines.

On entry, the direct contact of roots against the perforated cutting surface of the grater's rotating drum disintegrates the cells of the roots' tissues, liberating starch granules.

During operation, the drum's grating surface is constantly sprayed with water to permanently wash the perforations and to form an aqueous mass of cassava pulp that is easy to transfer to the rotating drum separator. A tank located under the grater receives the pulp until it passes on to the separator. This tank is positioned at a higher level than the separator, making it easy to load the grated pulp directly by gravity.

### **Separation of the "starch milk"**

In this operation, starch granules are separated from the grated pulp by abundant washing with water. The workers release the

pulp from the storage tank, directing it toward a pivoted hopper that, when in feeding position, permits the pulp to flow into the rotating separator drum. Water is introduced, uniformly and radially, by means of a fluted pipe.

Separation of the starch milk is a batch process. The suspension of starch granules in water or "starch milk" passes through a muslim or nylon screen attached to the internal walls of the drum. The longer the separating time, the more diluted the starch becomes. When it completely loses its color, workers shut off the water supply. Immediately, the direction of the feed hopper is changed to the "emptying" position. Fibrous residues or bagasse, known in Spanish as "afrecho", empty into a funnel-shaped tank that leads the waste through a buried pipe into a drainage tank.

After draining for several days, and when the weather permits, the bagasse is spread out on patios (usually unpaved) for drying in the sun. The dried "afrecho" is used as an ingredient in animal rations.

### **Screening the starch milk**

The starch milk flows out of the drum separator to a flat, slightly inclined reciprocating screen. The milk passes through this screen separating fine fibers known in Spanish as “afrechillo”, that had not been retained in the rotating separator.

The reciprocating motion displaces the “afrechillo” toward one end of the sieve where it is led to the waste storage tank used for the “afrecho”.

### **Sedimentation**

The starch milk passes through the reciprocating screen and is led through pipes toward a serpentine of sedimentation channels. Sedimentation in channels is based on the principle of selective precipitation of suspended starch in movement. In a given channel, the velocity of the starch milk establishes a retention time which should permit only the sedimentation of starch grains. Lighter materials (e.g., proteins, fibers, and impurities) do not settle, and are removed with the wastewater. Consequently, to obtain a clean sediment of starch and to prevent, as far as possible, loss of starch through the channels' outlet, the flow of the suspension (i.e., of the milk) and the depth of the water in the channel are carefully adjusted.

Selective sedimentation depends on the density of the particles in suspension, and make it possible to separate the starch according to grain size along the length of the channels.

**Water layer.** The first working day usually begins by filling the channels with water to a depth of 5 cm by placing retaining planks at the outlet end, forming a gate of variable height. Since the water used may not have been suitably treated to remove suspended particles, it would be added at the discharge end of the serpentine so that suspended particles will sediment in a part of the channel that is unlikely to receive starch. Once the channels have been filled to a height of 5 cm, the flow of starch milk into the channels is initiated. As the depth of the sedimented starch in the first length of the serpentine grows, the hatch's height is increased by adding more planks, thus increasing the retention time of the milk and recovering more suspended starch.

**“Mancha” or scum.** A creamy yellow scum layer, made up principally of protinaceous material of low density, settles out on top of the sedimented starch, especially in the final stretch of the serpentine. In Spanish this scum layer is known as “mancha”. The mancha never forms a compact paste and can be easily removed from the surface of the starch by washing with water until the starch's characteristically intense white color reappears. The water containing “mancha” is shift to a sedimentation tank where some of the material is recovered, depending on to the tank's capacity. The sedimented “mancha” is left to drain, then, because of its rich protein content, is sun dried and used in animal feed.

Sedimentation is carried out continuously for several days until the channels are full or a given batch of roots is finished. When extraction is not taking place, clean water should be run through the channels to prevent mancha from settling on the starch. At the start of the following day, the mancha must be removed from the surface of the compact mass of starch, so that the fresh starch settles on the previous day's starch rather than on the mancha.

Starch is removed from the sedimentation channels in the form of blocks that are easily cut with metal or plastic shovels. These blocks are then transported in buckets to the fermentation tanks.

### **Fermentation**

The sedimented starch is placed in fermentation tanks where it remains for a minimum of 15 days. Some processors routinely ferment the starch between 45 and 60 days to ensure that it acquires two important properties: the power to expand and a characteristic aroma, both necessary for baking traditional breads. The starch can remain in the fermentation tanks for as long as 4 months without deteriorating. It is therefore possible for fermentation to continue during the rainy seasons when sun drying is difficult.

A layer of water, 5 to 10 cm deep, should permanently cover the mass of starch. When the tanks are full, and to accelerate fermentation, one of three inocula are often used: supernatant water from already used fermentation tanks; supernatant water from the

“mancha” sedimentation tank after ensuring that the “mancha” has already sedimented out; or a block of already fermented starch, taken from another fermentation tank that contained starch from good quality cassava varieties, and placed on the tank’s floor.

### **Drying**

The starch forms a very compact mass in the fermentation tanks. Its moisture content is about 55%, wet basis. Using metal shovels, workers cut out blocks from the mass of starch and take them to the drying patios. Some extraction plants have spike mills to break up the blocks so that, on exposure to the sun, the drying rate of the starch is more uniform. Where such equipment is not available, the workers, or “patieros”, break the blocks up with their hands or by trampling with their feet.

Wet starch is usually dried by spreading on black plastic sheets on paved patios. The starch layer spread on the plastic varies in loading from 1 to 2.5 kg/m<sup>2</sup>, according to the amount of sun for the day. The starch is frequently raked over to expose the product uniformly to the sun and accelerate drying.

When the starch reaches a moisture content between 12% and 14%, wet basis, it is packed in sacks for marketing.

### **Using gravity**

The equipment and their supporting structures of artisanal starch-extraction plants should be installed at different levels to take advantage of gravity during loading and discharge operations. Worker fatigue is thus considerably reduced and the plant’s processing capacity increased.

See Plate 1 (page 65) and Plans GC-98-100A to GC-98-300B (pages 87-95)

### **Water consumption**

High water consumption by artisanal starch-extraction plants in the Department of Cauca, southwestern Colombia, is a serious technological and environmental problem. An average of 15 to 20 m<sup>3</sup> of water is used for each ton of processed roots. In Cauca, 60 to 90 l of water are used per kilogram of starch. In contrast, in Brazil where the technology is

better, only an average of 25 l is consumed per kilogram of starch.

This problem is aggravated by:

- Water shortage during dry periods;
- Notable reduction in water flows caused by the felling of forests at the source of rivers;
- Increase in the processing capacity of artisanal starch-extraction plants (through recent improvements)—processing larger quantities of roots requires more water.

Contamination of rivers generated by wastewaters that carry a high load of organic matter, creates another problem for water consumption. In Cauca, these untreated waters pour into rivers at an estimated rate of 2000 to 6000 mg of COD<sup>1</sup> per liter of effluent.

## **Technical Description of Equipment Used in an Artisanal Starch-Extraction Plant**

### **Root-washing machine**

See Plate 2 (page 66) and Plans LAV-98-100A to LAV-98-400C (pages 99-126)

The machine consists of a hopper for receiving roots, a transmission shaft, a perforated cylinder or drum, a hatch to hold back the roots, and a holding area for washed roots located in front of the grater. A concrete structure supports the equipment and channels the wastewater. This equipment is batch operated and has an approximate capacity of 1000 kg of roots per hour.

### **Hopper**

This item has an approximate capacity of 100 kg of cassava roots. It is constructed of 15/10-mm thick sheet steel, and is attached by means of bolts and angle irons inserted into the walls of the concrete structure. The hopper is designed to accommodate the washing machine’s transmission shaft, that passes underneath the hopper.

1. COD = Chemical oxygen demand.

### **Transmission shaft**

The 60-mm diameter shaft or central axle transmits movement to the drum. Bearings support each end, one of which is fixed on a concrete wall, and the other of which sits on a 100 x 50 mm iron plate and embedded in concrete. A flat pulley is fixed on the shaft with a lock screw.

### **Drum**

The washing machine's rotating cylinder or drum is 700 mm in diameter and 1600 mm long. It is made from 5-mm thick sheet steel, that has been rolled to form the cylinder. It is perforated with rectangular orifices, measuring 120 x 12 mm, arranged in 14 rows of 6 or 7 orifices each.

The drum rotates at 40 rpm. It is joined to the central shaft at its ends by circular supports, or hub collars, each of which consists of a sleeve attached to the shaft with lock screws. Iron plates radiate from the hub collars, and are attached to a metal ring welded onto the drum. The radiating plates are placed at an angle, permitting the introduction of roots.

Four 12-mm diameter iron rods are welded onto the drum's inside surface to form a helix and induce an axial movement that facilitates the loading, agitating, and discharge of roots.

### **Exit hatch**

The hatch is semicircular and made from 2-mm thick sheet metal. It is installed by hinges on 100 x 50-mm iron plate and attached to the supporting structure (see below). It is located at the end of the drum where the roots are emptied. When it is kept closed it retains the roots within the washing machine. A bar mechanism is used to open, or maintain the hatch in a closed position.

### **Holding area**

The washed and peeled roots are emptied into a holding area with a false floor made of 10 x 10-mm rectangular parallel bars. This holding area drains the roots, permits visual control of washing quality, separates stones and other small objects, and temporarily holds the roots before grating. The false floor can be withdrawn for cleaning.

### **Supporting structure**

This structure supports the washing machine and permits the evacuation of the wastewater and solid material. Lateral walls prevent splashing and separate the area where the wastewater is emptied from the area where the washed roots are temporarily held. The area for evacuating water is shaped like an inverted pyramid with very steep sides, which ensures that the peel and other impurities are adequately removed without need for adding more water.

### **Water supply**

Water is supplied through pipes positioned at the upper edge of the loading and discharge ends of drum. Flow varies from 2 to 2.5 l of water per kilogram of fresh cassava roots.

#### **Root-washing machine specifications**

- Capacity: 1000 kg of fresh roots per hour
- Drum's dimensions: - length = 1600 mm  
- diameter = 700 mm
- Drum's rotational speed: 40 rpm
- Required water supply: 2 to 2.5 l/kg of fresh roots

### **Grater**

See Plate 3 (page 67) and Plans RAP-98-100A to RAP-98-400B (pages 129-149)

The grater has a support structure, a hopper, a metal chassis, a transmission shaft, and a rotor. The grater can work continuously. It has a maximum capacity of 1700 kg of fresh roots per hour. The capacity will vary depending on the wear and tear of the abrasive metal sheet that covers the rotor.

### **Hopper**

The hopper is chute-like to facilitate receipt of the washed roots. It rests on the supporting structure of the washer but is bolted onto the chassis of the grater. It is made from 2-mm thick sheet metal.

### **Chassis**

The chassis consists of two 50 x 50-mm angle iron frames embedded in the concrete on each side of the rotor. These frames support

the bearings of the rotor's axle and a casing made of 4-mm thick sheet steel that maintains the roots in position during grating. An observation cover, pivoting on hinges and situated on the upper part of the feed chamber, is used to check the cylinder and prevent pulp from being thrown out, or workers' hands coming into unintentional contact with the rotor's cutting surface.

On the front inside panel of the casing, is a 40-mm thick wooden board that almost touches the rotor. Its function is to stop pieces of cassava roots or peel passing through the machine without being adequately grated. The board is attached to the casing by screws and can be adjusted when large lumps appear in the grated mass.

Some graters are equipped with a screen with 5-mm diameter circular perforations similar to the screens found in hammer mills. The grater's drum forces pulp through the screen's openings. A finer and more uniform particle size is achieved, which permits the extraction of a larger quantity of starch.

#### **Transmission shaft**

The 40-mm diameter transmission shaft is supported by bearings. Movement is provided by a belt attached by flat pulleys to a motor.

#### **Rotor**

The rotor is made of trapezoidal wooden battens supported at each end by two metal rings and arranged in the form of a hollow cylinder, 280 mm in diameter and 400 mm long. The surface of the cylinder is covered by 8/10-mm thick galvanized steel. Before fastening to the cylinder the galvanized sheet is perforated using a nail, in order to provide a rough surface for grating. The rotor is fixed to the transmission shaft with lock screws and revolves at 1800 rpm.

#### **Casing**

The casing is made of sheet metal or wood and prevents the pulp from spilling out as the grater operates.

#### **Supporting framework**

The grater is supported by bearings that are anchored on the two lateral walls of the

rectangular storage tank that receives the cassava pulp. This tank's capacity is at least equal to the batch of pulp loaded into the separator. A pivoting PVC pipe allows workers to send a given batch to the available separator.

#### **Water supply**

Water is sprayed onto the cutting surface through a perforated PVC pipe positioned above the rotor. The flow is about 1 l of water per kilogram of fresh roots.

#### **Grater specifications**

- Capacity: 1700 kg of fresh roots per hour
- Rotor's dimensions: - length = 400 mm  
- diameter = 280 mm
- Rotor's rotational speed: 1800 rpm
- Required water supply: 0.8 to 1 l/kg of fresh roots

#### **Drum separator**

See Plate 4 (page 68) and Plans EXT-98-100A to EXT-98-700C (pages 153-198)

The separator operates in batches with a capacity of 275 kg of fresh roots per hour. This capacity is low, compared with that of either the washing machine or grater. Larger starch-extraction plants therefore install two separators in parallel. The separator consists of a pivoted feed and discharge hopper, a cylindrical separating drum, a water supply system, and the casing. The separator is supported on a concrete pillar to which the machine's transmission is attached.

#### **Transmission shaft**

A bearing box is constructed locally of two second hand conical bearings taken from an old lorry. The box is bolted onto an angle iron structure embedded in the concrete pillar. The bearings support the separating drum by means of a 50-mm diameter transmission shaft. The shaft is connected to the separating drum by a circular disk that acts as reinforcement for the separator drum itself. At the shaft's other end, a flat pulley is attached by lock screws, and movement is provided by belts connected to a motor.

### **Separator drum**

The drum has an exterior diameter of 980 mm and is 870 mm long. Its rotational speed is 25 rpm. It consists of the following elements:

- A set of three circular metal plates, each having a different diameter and each bolted to the circular reinforcement disc attached to the transmission shaft. The thickness of these plates must be sufficient (between 6 and 8 mm) for the whole to have adequate rigidity and also to provide a firm base on which to attach the drum's internal elements. An iron ring is welded onto the circular perimeter of the plate with the largest diameter and which is used to maintain the perforated aluminum sheet and filter cloth in position.
- A circular metal sheet forms a panel on the opposite end of the drum where the pulp enters the separator. The sheet is only 2 mm thick to help reduce the hanging weight but is sufficient to provide a firm base for the drum's internal elements. The sheet has a central circular hole through which pulp is fed or discharged. As was done for the other end, an iron ring is welded onto the perimeter of the sheet to maintain the perforated aluminum sheet and filter cloth in position.
- Inside the drum, six iron rods, 14 or 20 mm in diameter, connect the two circular ends of the drum. On the drum's internal surface, six angle irons, measuring 30 x 30 mm, maintain, as do the six rods, the drum's sides in position. They also support, by means of screws, six sets of symmetrical scoops made from 15/10-mm sheet metal. These scoops are placed in such a way that they collect the pulp and water mixture from the bottom of the drum and lift it to a certain point where the mixture falls as a cascade. This action serves simultaneously to mix, agitate, and wash the pulp. The scoops serve to evacuate the bagasse once the washing operation has finished.
- An essential element of the separator is the cloth, which separates the starch milk from the bagasse. It is made of either *nylon* or *muslin*, with a mesh of about 100 and is

of the type used for various domestic and industrial activities. The cloth is installed over the drum's outside surface supported by the iron rings, and is nailed at its ends onto a wooden batten. A wooden batten, with a cross-section of 100 x 20 mm, is fastened along the length of the drum to one of the angle irons. Because the cloth shrinks when wet, it should be wetted before installation so that it will remain constantly taut during operation. Some processors prefer using cotton or linen cloths because of better fiber retention. However, these cloths do not last, deteriorating rapidly when processing is not on a daily basis. Metal cloths could be used, but their high cost and lack of availability are serious drawbacks.

- A 10/10-mm thick *aluminum sheet* perforated in the form of "water drops", is placed externally around the drum, and acts as a support for the cloth. The perforations' sharp edges face the outside so not to cut the cloth. Angle irons welded on to each end of the perforated sheet come together when the sheet is placed on the drum. They are positioned against the wooden batten so as not to damage the cloth and bolted together thus maintaining both sheet and cloth in position.

### **Feed and discharge hopper**

The hopper, which is used to load and empty the separator, is made from 2-mm thick sheet metal. The pivoting action required is achieved with a pair of iron plates welded onto the hopper and joined, by a swivel joint, to a metal framework embedded in concrete. The two positions—feeding the pulp and discharging the bagasse—are achieved with an articulated lever set in the metal framework and fixed to the desired position by locking into grooves on the outside of the hopper's base.

### **Supporting structure**

The support is a tank, 10 cm deep, located under the separator drum to collect the starch milk, which leaves through a PVC pipe toward the reciprocating sieve. A square tank receives the bagasse delivered by the hopper in the discharge position. From the tank's floor, another PVC pipe leads the bagasse to a drainage tank.



### **Casing**

The casing consists of two 15/10-mm thick vertical sheets, that continue the vertical walls of the tank receiving the starch milk, and serve to recover suspension that is projected through the orifices of the separator drum. The casing thus reduces starch loss.

### **Water supply**

The drum is fed with water from a perforated pipe that enters the drum along its axis and is attached to the same supporting framework as the feed and discharge hopper. Water consumption is about 6.5 l per kilogram of fresh roots.

#### **Drum separator specifications**

- Capacity: 275 kg of fresh roots per hour
- Drum's dimensions: - length = 870 mm  
- diameter = 980 mm
- Drum's rotational speed: 25 rpm
- Required water supply: 6.5 l/kg of fresh roots

### **Reciprocating screen**

See Plate 5 (page 69) and Plans TAM-98-100A to TAM-98-300B (pages 201-214)

To filter the starch milk and remove the smallest fibers, most artisanal starch-extraction plants use a flat reciprocating screen. Under the screen is a concrete tank, lined with ceramic tiles, which receives the starch milk. The tank is about 300 mm high, and two frames, in the form of an inverted 'U' and made of 35 x 35-mm angle irons, are attached to the top of the tank's walls. On these frames four vertical pieces of flat belt are attached to maintain the chassis at a slightly inclined angle. The sieve, 1200 mm long and 600 mm wide, rests on this chassis.

The chassis's reciprocating motion is achieved through a coupling rod operated by an eccentric that is made with second hand ball bearings. A 25-mm diameter transmission shaft, rotating at 200 rpm, transmits movement to the sieve through a flat pulley that is attached to the shaft with a lock screw. The horizontal displacement of the chassis is about

40 mm. The starch milk is collected from the tank floor by a PVC pipe that leads it toward the sedimentation channels.

### **Power transmission**

See Plate 6 (page 70) and Plans TRANS-98-100A to TRANS-98-304 (pages 217-230)

The artisanal starch-extraction plants in Cauca are located in rural regions, close to cassava-producing areas. The electricity distribution system is good and power reaches even to the remoter regions. However, climatic phenomena such as electric storms or strong winds frequently affect the system.

To solve the problem of frequent electricity cuts, processors also have a gasoline engine to provide power during cuts. In these cases, the processors manually transfer the transmission belt from the electric motor to the gasoline engine. The power provided by the electric motor is at least 5.5 kW (7.5 hp). The back-up gasoline engine needs to be at least 16 hp.

Movement is provided through a system of flat belts and pulleys. The belts are made of highly durable rubber and can be acquired in local markets. The motor transmits movement to a principal transmission shaft, which is in parallel to the axes of all the machines. Power is taken from this shaft by further belts and pulleys. The washing machine requires an additional countershaft because of its lower rotational speed (40 rpm).

This system presents important limitations, including worker safety and energy wastage. In effect, the transmission of power through flat belts and transmission countershafts, using only one motor, is more dangerous to workers. Discontinuous work or work in batches and differences in capacity among the different machines causes some of these to rotate empty, obliging operators to manually take off the pulley belts, using wooden poles. When these must be installed again, the operators do so, at considerable risk, while the transmission system is operating. Some processors prefer to avoid the risk and do not disconnect the equipment, thus creating power wastage through the unnecessary movement of both washing machine and grater. The separators, because of their lower capacity, are the only machines that work permanently throughout the process.

## **Sedimentation channels**

See Plate 7 (page 71) and Diagram 7bis (page 72)

These channels have a cross-section of 600 mm wide and 400 mm deep. The ideal channel for creating a laminar flow and achieving a homogeneous sedimentation would be rectilinear and more than 180 m long. Usually, such a construction is impossible for organizational and space reasons. What is commonly constructed is a serpentine or set of seven parallel channels, each 25 m long. To prevent, as far as possible, turbulence in the flow, the end of each rectilinear channel curves to form a semicircle that connects it with the next channel. At the beginning of the first channel, where the starch milk falls from the reciprocating sieve, a sand trap about 1 m long is constructed. The trap not only filters the starch milk, but also slows its speed and provides a uniform overflow into the channels.

In the channels only starch sediments. Heavier impurities, such as sand, remain in the sand trap and lightweight impurities leave with the wastewater at the end of the serpentine. The channels are made of concrete and lined with ceramic tiles that facilitate cleaning and protect the concrete from being attacked by the acids in the starch milk.

The wastewater carries a fine sediment ("mancha"). To recover the "mancha" a sedimentation tank is constructed at the far end of the serpentine. In addition, at the end of each pair of channels, drains are placed to facilitate the discharge of cleaning waters, which are then led to the "mancha" sedimentation tank.

## **Fermentation tanks**

Fermentation tanks are built of brick, and plastered with cement, and protected on the inside with either ceramic tiles or wood. These tanks are placed as closely as possible to the sedimentation channels, standing at the same level, thereby reducing fatigue in the workers who fill them with the sedimented starch from the channels. Fermentation is better if the tanks are in shaded, cool sites, and if possible buried, to help keep temperatures in the tanks uniform.

A tank's internal dimensions are about 1200 x 1400 x 1200 mm high. The starch in the tanks is covered with woven material (of sisal or polypropylene sacking) that is mounted on wooden frames. The woven material allows gases produced in the fermentation to leave while preventing insects from entering.

## **Pulverizing mill for wet starch**

See Plate 8 (page 73) and  
Plans EMOT-98-100A to EMOT-98-203 (pages 233-251)

The compact blocks of starch taken from the fermentation tanks are broken up or pulverized in a mill. The idea is to increase the rate of evaporation when the starch is exposed to the sun on drying patios. The mill can be located at an appropriate site of the starch-extraction plant, but when it is installed on a chassis with wheels, it can be wheeled up to the fermentation tank being emptied.

The mill consists of the following components: a principal chassis made of angle irons; a transmission shaft; a secondary chassis, also made of angle irons and which carries the casing for the mill; a rotor; a hopper; and a perforated metal screen. This equipment requires a 2.7 kW (3.6 hp) electric motor.

### **Principal chassis**

The chassis is made from angle irons, measuring 40 x 40 mm, and is provided with a wheel for each of its four legs. Several angle irons, measuring 25 x 25 mm, are welded vertically on to the chassis to form a rail on which the motor slides to obtain the desired belt tension.

### **Transmission shaft**

The shaft is 25 mm in diameter and is installed on two bearings that are attached to the chassis. At each end of each bearing are two pulleys that form part of the speed-reducing system.

### **Secondary chassis**

This chassis is screwed onto the principal chassis and supports two vertical, circular, metal plates, 10 mm thick, that comprise the mill's casing. The two bearings mentioned in the previous paragraph are bolted onto these two plates.

### **Rotor**

The rotor is made up of a shaft, 40 mm in diameter, mounted on the two bearings of the secondary chassis. An agitator with four paddles is attached to the shaft with lock screws. The agitator consists of a 5-mm thick tube on which eight thin iron plates, 60 x 6 mm, are welded radially. These support, screwed at their ends, four thin wooden planks, measuring 85 x 20 mm, that constitute the agitator's four paddles. The diameter that the blades circumscribe is about 420 mm. At one end of the shaft is attached a flat pulley, which rotates at 280 rpm.

### **Feed hopper**

The feed hopper is made of 15/10-mm thick galvanized steel. It is screwed onto the two vertical circular plates of the mill's casing. The form and position of the hopper facilitate the introduction of blocks of wet starch and prevent starch from being thrown out of the machine during operation.

### **Perforated metal screen**

The screen is made of 15/10-mm thick sheet metal, with numerous perforations, 5 mm in diameter. It is screwed underneath the rotor onto the two vertical circular plates and the sides of the casing, forming a circular section of 260°.

### **Electric motor**

The electric motor is installed on the machine so that the mill can be moved to different parts of the plant.

### **Drying area**

The pulverized starch is spread over black polyethylene plastic laid out on concrete patios. As the starch dries in the sun, the plastic's black color accelerates drying. If it rains, the starch is collected into the center of the plastic, which is folded over it, thus protecting the starch from getting wet. A large patio is needed because only between 1 and 2.5 kg/m<sup>2</sup> can be dried daily.

Drying is the major constraint to cassava sour-starch production, for two reasons: the high cost of concrete patio construction and unfavorable climatic conditions in the areas of starch production.

### **Tanks for drainage and byproduct storage**

These tanks are constructed to one side of the processing plant, and are used to collect peel and bagasse obtained during root washing and starch extraction. These byproducts are led from the processing machinery by buried pipes to the tanks. To recover the bagasse, usually two contiguous tanks, 5 x 3 x 1.5 m high, are constructed. The walls are either of concrete or of building bamboo.

At the first tank, the bagasse arrives directly from the separator, together with the water necessary for its transportation. The water drains through the tank's bamboo grille floor. When the bagasse is drained, but still with an 80% moisture content, it is passed on to the next tank, where it is stored. Usually, the bagasse is not dried at the starch-extraction plant because of the lack of space, but sold to intermediaries who dry it along roadsides and market it as an ingredient for animal rations.

## **Designing and Manufacturing Equipment and Components**

Cassava sour-starch production is still at an artisanal level. However, the equipment developed by processors and mechanics of the area is easy to construct, with accessible prices, and ready adaptability to users' needs.

Gradually, innovations in plant and machinery have been introduced to serve three needs: to reduce worker fatigue, to increase production, and, logically, to reduce manufacturing costs. For the last reason, parts recovered from heavy lorry vehicles, such as axles and bearings, are used. Except for the abrasive lamina in the grater and the sieving cloth, maintenance is minimal. A process of trial and error has determined the types of bearings, dimensions of transmission axles, and the most suitable and durable materials for making the equipment. Materials are readily obtained in neighboring cities. The equipment is easily made and maintained by those local workshops that have the following tools:

- Oxyacetylene equipment to cut and weld metals
- Electric soldering equipment
- Column drill

- Cutter and grinding stone
- Work bench
- Vice (vise)
- Basic hand tools

## **Recommendations**

### **Washing machine**

The washing machine's drum is made of sheet steel, 5 mm thick, and has a set of rectangular apertures, measuring 120 x 12 mm, through which peel and impurities leave the machine.

- If appropriate equipment is available, these apertures can be made by drilling the metal sheet before it is rolled to form the drum.
- Manufacturing costs can be reduced by about one third if the metal sheet is rolled, welded, and perforated, using oxyacetylene cutting equipment. Marks to indicate the position of the perforations can be simply made on the metal sheet because neither the dimensions nor location of these holes require particular precision.

### **Grater**

See Plate 9 (page 74)

Two metal wheels, each consisting of a disk welded to the inside of a ring, are attached to each end of the rotor's axle.

- The disk is cut from plate metal with oxyacetylene equipment and polished with grinding stone. The ring is also cut from plate metal, but one that is easily formed in the workshop. It is then welded onto the disk.
- The wooden battens that form the cylinder are screwed onto the periphery of the rotor's two rings. The wood used for the battens should have a density of about 900 kg/m<sup>3</sup> and should be resistant to deformation and to the high humidity experienced during operation.
- The grater is made of galvanized steel to prevent oxidation and is 8/10 mm thick. The rural mechanic is likely to buy an entire sheet, then cut sections according to

the dimensions of the machine requested. The cut sheet should have protruding and rough perforations.

- The space between perforations, both in rows and columns, is equidistant at 12 mm. To make the perforations, the cut and marked sheet is placed on a pile of sisal sacks and, with a wooden hammer, an iron nail, measuring 5 x 80 mm, is hammered through at each mark, and removed, leaving the perforation.
- The perforated sheet is then rolled onto the wooden cylinder (i.e., the drum) so that the two edges overlap about 1 cm. They are then fixed onto the wooden cylinder with nails. Some processors rehabilitate a worn-out sheet by taking it off the cylinder and hammering the nail through the holes again, so that the cutting edges of the perforations recover their sharpness.

### **Drum separator**

See Plates 10 and 11 (pages 75-76)

The drum separator's transmission shaft is made from part of a fractured axle of a truck's transmission, its length being modified according to the user's need. By being incorporated into the separator, the broken axle recovers its function!

- The shaft is sustained by two conical, double-row, ball bearings installed in a cylindrical box. They are kept in position by a system of tensors made in the workshop, also with recovered materials. The bearings are obtained from local workshops specializing in the sale of used parts of power-transmission systems. The box is made from an iron pipe, which is cut along the axle to form two halves. One half is then hinged back on to the other half to form a lid for the box. The necessary axle bearings are then made from iron plates and welded onto the box. The bearings are lubricated by splashes from oil stored on the box's floor.
- The perforated metal sheet that covers and supports the sieving cloth is made of 10/10-mm thick aluminum. This material is highly resistant to corrosion and highly malleable. To make the perforations, the

sheet is marked, placed on a softwood board, and struck through with a punch at the marks to make holes with a diameter of 10 mm. The blows are made in such a way that the orifice edges stand out to form shapes like drops of water. The perforations are about 50 mm apart, and the distance between lines of perforations is 25 mm. The punch has an exterior diameter of 15 mm. The pointed end is 12 mm long and 9 mm in diameter.

### **Pulleys**

See Plate 12 (page 77)

The pulleys used in the starch-extraction plant are made locally. A pulley comprises a bushing, spokes, and an external ring. The iron bushing is attached to the transmission axle with lock screws. The pulley's arms or spokes are made of iron rods welded onto the bushing and onto the pulley's external ring. This external part is made with a folded and welded plate to form the ring on which the flat, power-transmission band works. Processors also frequently use aluminum pulleys, which are obtained from urban stores.

### **Machine installation**

All the equipment presented in this manual are currently functioning in many artisanal starch-extraction plants in Cauca. These small sour-starch factories, whose capacity reaches 1 t of product per hour, have proliferated because of:

- The equipment's simple design and easy maintenance;
- Availability of rural mechanics who were trained in the production area;
- Innovations by processors, technicians, and researchers interested in the sector.

Working conditions have been improved and factory production increased by introducing sedimentation channels and positioning equipment at different levels throughout the plant. The different levels help workers make use of gravity for loading machines and discharging byproducts.

Current worker safety standards could become a problem if the equipment's transmission system is not improved. Mounting an electric motor for each machine could help improve the situation. Information so far obtained suggests the following power:

- Washer-peeler: 1.1 kW (1.5 hp)
- Grater: 3.7 kW (5.0 hp)
- Drum separator: 1.1 kW (1.5 hp)

The frequent energy cuts in rural areas where the Colombian starch-extraction plants operate require either the additional installation of gasoline engines, or of an engine powered electricity generator.

The water supply needed for starch extraction constitutes another serious problem that requires further research. First, water consumption is very high (up to 20 m<sup>3</sup> per ton of roots) and generated wastewater contaminate the area's rivers. Second, water comes from nearby rivers and springs and, while it is abundant during rainy seasons, it is limited to such an extent in the dry seasons that plants are sometimes obliged to suspend operation.

Two possible solutions have been studied: (1) to use hydrocyclones to concentrate the starch milk and return part of the water to the separators, and (2) to reuse the washing water and the water that leaves the sedimentation channels. However, these solutions imply the use of other equipment (e.g., motor pumps, filters, pipes, and decanting tanks) that are difficult to acquire, given the processors' limited economic capacity.

# Bibliografía - Bibliographie - Bibliography

Acrónimos mencionados en las referencias.

Acronyms mentionnés dans les références bibliographiques.

Acronyms mentioned in the references.

AFSRE	= Association for Farming Systems Research-Extension
AJRTC	= African Journal of Root and Tuber Crops
AMIS	= Amélioration des méthodes pour l'innovation scientifique (departamento del CIRAD, ver)
CECORA	= Central de Cooperativas de la Reforma Agraria, Colombia
CETEC	= Corporación para Estudios Interdisciplinarios y Asesoría Técnica
C.I.	= Centro de Investigaciones (del ICA, ver)
CIAT	= Centro Internacional de Agricultura Tropical
CIID	= Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, Canadá
CIRAD	= Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Francia
CUAO	= Corporación Universitaria Autónoma de Occidente, Colombia
FINANCIACOOP	= Instituto de Financiamiento y Desarrollo Cooperativo, Colombia
ICA	= Instituto Colombiano Agropecuario
IICA	= Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
INIAP	= Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Ecuador
ISTRC	= International Society for Tropical Root Crops
ORSTOM	= Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération, Francia
PRODAR	= Programa de Desarrollo de la Agroindustria Rural de América Latina y el Caribe
SAR	= Systèmes agroalimentaires et ruraux (actualmente AMIS, ver)
SEDECOM	= Servicio para el Desarrollo del Sector Cooperativo y Microempresario
UNIVALLE	= Universidad del Valle, Colombia

Alarcón F. 1994a. Transferencia y adaptación de tecnologías mejoradas de procesamiento de almidón agro a pequeños productores y procesadores de la provincia de Manabí, Ecuador. CIAT, Cali, Colombia.

Alarcón F. 1994b. Diagnóstico de las variedades regionales de yuca en el Departamento del Cauca, Colombia. CIAT, Cali, Colombia. 30 p.

Alarcón F; Dufour D. 1998. Almidón agro de yuca en Colombia. Tomo 1: Producción y recomendaciones. CIRAD-AMIS y CIAT, Cali, Colombia. 35 p.

Alazard D. 1995. Traitement des déchets solides et liquides. En: Griffon D; Zakhia N (eds.). Valorisation des produits, sous-produits et déchets de la petite et moyenne industrie de transformation du manioc en Amérique Latine. Informe final. Proyecto TS3-CT92-0110 de la Unión Europea. CIRAD-SAR, Montpellier, Francia. p. 100-136.

Aponte CH; Ferrucho C. 1990. Diseño de una máquina lavadora-peladora de yuca. Tesis. CUAO, Programa de Ingeniería Mecánica, Cali, Colombia. 88 p.

Araújo JI; Vidarte MD. 1996. Manual 1: Máquina lavadora de yuca. En: Serie de manuales de construcción de maquinaria para el procesamiento de harina de yuca. Sección de Utilización de Yuca del CIAT y CIID, Cali, Colombia. 50 p.

Barreto AE. 1990. Caracterización del almidón agro de yuca. Tesis. Universidad del Quindío, Colombia. 88 p.

Becerra S; González LG. 1991. Evaluación técnico-económica de la tecnología existente y nueva para la extracción del almidón de yuca. Tesis. CUAO, División de Ingeniería, Programa de Ingeniería Industrial, Cali, Colombia. 178 p.

Bernal S; Jaramillo J. 1992. Diseño de una máquina presecadora de almidón y afrecho de yuca. Tesis. CUAO, Cali, Colombia. 93 p.

Betancourt GP; Tobón OP. 1988. Propuesta tecnológica para las rallanderías del norte del Cauca. Tesis. Pontificia Universidad Javeriana, Departamento de Ingeniería, Cali, Colombia. 237 p.

Bietrix P. 1996. Procédé de fabrication de l'amidon fermenté de manioc en Côte d'Ivoire et utilisation du produit en panification. Trabajo final (Ingeniería). I2T (Costa de Marfil), ENSIA-SIARC (Montpellier, Francia) y ENTIA (Nantes, Francia). 52 p.

Brabet C. 1994. Étude des mécanismes physico-chimiques et biologiques responsables du pouvoir de panification de l'amidon fermenté de manioc. Tesis (Doctorado). Universidad de Montpellier II, Sciences et Technique du Languedoc, Montpellier, Francia. 322 p.

- Brabet C. 1996. Étude des conditions de production et d'utilisation de l'amidon aigre de manioc au Bénin. CIRAD-SAR, Montpellier, Francia. 70 p.
- Brabet C; Dufour D. 1995. El almidón de yuca: Producción y estudios de las propiedades fisicoquímicas. Simposio sobre carbohidratos, octubre 1993. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. p. 197-213.
- Brabet C; Bricas N; Hounhouigan J; Nago M; Wack AL. 1998. Use of African cassava varieties for the production in Benin of sour starch, a traditional latinamerican baking product. En: Proceedings of the seventh triennial symposium of the International Society for Tropical Root Crops, African Branch. ISTRC-AB, Cotonou, Benin. 11 p.
- Brabet C; Chuzel G; Dufour D; Raimbault, M; Giraud J. 1996. Improving cassava sour starch quality in Colombia. En: Dufour D; O'Brien GM; Best R (eds.). Cassava flour and starch: Progress in research and development. CIRAD-SAR y CIAT, Cali, Colombia. p. 133-143.
- Caballero VH. 1994. Evaluación de dos sistemas de extracción de almidón con varios días de rallado, en tres variedades de yuca en la Parroquia Calderón, Provincia de Manabí. Tesis. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. 35 p.
- Caballero VH; Villafuerte J; Poats SV. 1997. Transfer and adaptation of Colombian sour starch technology to UATAPPY cassava producer processors in Manabí, Ecuador. En: Thro AM; Akoroda MO (eds.). Contributions of biotechnology to cassava for Africa. En: Proceedings of the Cassava Biotechnology Network: Third international scientific meeting 1996. AJRTC 2, Kampala, Uganda. p. 253-257.
- Cabrera IE; Rico CA; Collazos EB. 1990. Proyecto de comercialización e industrialización de la yuca y sus derivados para la región norte del Cauca. FINANCIACOOP, Popayán, Colombia. 214 p.
- Cardona AA; López RR. 1996. La economía de la yuca en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá, Colombia. 84 p.
- CECORA. 1988. Diagnóstico socioeconómico del Cauca. Bogotá, Colombia. 150 p.
- CETEC. 1994. La producción y los mercados de la yuca y del almidón de yuca. Cali, Colombia. 40 p.
- Chacón MP; Mosquera L. 1992. Estudio del sistema socio-económico de la producción del almidón de yuca en el norte del Cauca. Tesis. CUAO, Programa de Economía, Cali, Colombia. 65 p.
- Chuzel G. 1991a. Mejoramiento de los equipos de extracción del almidón de yuca en Colombia. Trabajo presentado en el VII Seminario Latinoamericano y del Caribe de Ciencia y Tecnología de Alimentos, San José, Costa Rica, abril 1990.
- Chuzel G. 1991b. Diagnóstico tecnológico de la producción del almidón de yuca en Colombia. Trabajo presentado en el VI Seminario Anual de Yuca, organizado por el INIAP en Porto Viejo, Ecuador, noviembre 1990.
- Chuzel G. 1992. Amélioration technique et économique du procédé de fabrication de l'amidon aigre de manioc. En: Dufour D; Griffon D (eds.). Amélioration de la qualité des aliments fermentés à base de manioc. Informe final (contrato de la Unión Europea). CIRAD-SAR, Montpellier, Francia. p. 9-58.
- Chuzel G; Muchnick J. 1993. La valorisation des ressources techniques locales: l'amidon aigre de manioc en Colombie. En: Muchnick J (ed.). Alimentation, techniques et innovations dans les régions tropicales. L'Harmattan, Paris, Francia. p. 307-337.
- Chuzel G; Pérez D; Dufour D; Alarcón F. 1995a. Amélioration d'un système d'extraction par voie humide d'amidon de manioc. En Agbor Egbe T; Braumann A; Griffon D; Trèche S (eds.). Transformation alimentaire du manioc. Ediciones ORSTOM, Paris, Francia. p. 637-647.
- Chuzel G; Pérez D; Dufour D; Griffon D. 1995b. Amélioration technologique des équipements d'extraction d'amidon en Colombie. En: Agbor Egbe T; Braumann A; Griffon D; Trèche S (eds.). Transformation alimentaire du manioc. Ediciones ORSTOM, Paris, Francia. p. 623-636.
- CIAT. Cassava Program. 1988 a 1996. En: CIAT Annual Report, 1988 a 1996. Cali, Colombia.
- CIAT. 1995. La industria del almidón en el departamento del Cauca, Colombia. Informe del proyecto desarrollado conjuntamente por CORPOTUNIA, CIRAD, CETEC, Univalle, Fundación Carvajal y CIAT. Cali, Colombia. 16 p.
- CIAT. 1997a. Aseguramiento de la calidad en la agroindustria de procesamiento de almidón agrío de yuca en el departamento del Cauca, Colombia. Proyecto presentado al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Colombia, por CETEC, CIAT, CIRAD-SAR y UNIVALLE. Cali, Colombia. 17 p.
- CIAT. 1997b. Fortalecimiento y promoción de la cooperativa de productores y procesadores de yuca en el norte del Cauca, Colombia. Proyecto presentado al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Colombia, por CETEC, CIAT, Fundación Carvajal y CIRAD-SAR. 10 p.
- CIRAD. 1994. Cassava sour starch, a rural agro-industrial product. En: CIRAD-GERDAT. Images of research. Montpellier, Francia. p. 78-81.
- Dufour D. 1994a. Procesamiento de la yuca: Estudio del caso de la producción de almidón agrío de yuca en Colombia con desarrollo de un almidón para panificación. Trabajo presentado en el Primer Congreso Nacional de Ingeniería de Alimentos, Bogotá, Colombia, octubre 1994.

- Dufour D. 1994b. Valorisation du manioc en Equateur: Diversification des utilisations et mise en place de normes de qualité. Misión de CIRAD en Ecuador en mayo 1994. CIRAD, Montpellier, Francia. 40 p.
- Dufour D. 1995a. Apoyo al sector almidonero de yuca en Colombia: Impacto del Proyecto CIRAD-CIAT. Trabajo presentado en el X Encuentro Nacional de Productores e Investigadores del Cultivo de Yuca, organizado por FEDEAGRO, CECOTUP y F.C.A., de Venezuela. Puerto Ordaz, Edo. Bolívar, Venezuela. 11 p.
- Dufour D. 1995b. Producción de almidón agrio de yuca en Colombia: Estudio de las propiedades reológicas durante las diferentes etapas del proceso. En: Boucher F; Muchnik J (eds.). Agroindustria rural: Recursos técnicos y alimentación. Informe del proyecto desarrollado por CIRAD, CIID e IICA. CIAT, Cali, Colombia. p. 165-183.
- Dufour D; Brabet C. 1998. Les propriétés rhéologiques de l'amidon aigre de manioc en Colombie. En: Boucher F; Muchnik J (eds.). Les agro-industries rurales en Amérique Latine. Collection repères. CIRAD. p. 119-130.
- Dufour D; Griffon D. 1992. Amélioration de la qualité des aliments fermentés à base de manioc. Contratos con la Unión Europea de CIRAD-SAR y ORSTOM. Informe final. 206 p.
- Dufour D; Griffon D. 1994. Amélioration de la qualité des aliments fermentés à base de manioc. En: Agriculture tropicale et subtropicale, deuxième programme STD. Contrato con la Unión Europea. p. 239-244.
- Dufour D; O'Brien GM; Best R (eds.). 1996. Cassava flour and starch: Progress in research and development. Memorias. International Meeting on Cassava Flour and Starch, Cali, Colombia, enero 1994. CIRAD-SAR y CIAT, Cali, Colombia. 408 p.
- Eguez C. 1996. Cassava starch and flour in Ecuador: Its comercialization and use. En: Dufour D; O'Brien GM; Best R (eds.). Cassava flour and starch: Progress in research and development. CIRAD-SAR y CIAT, Cali, Colombia. p. 42-47.
- Fonseca-Mejía A. 1974. Almidón de yuca: Método y equipos. Publicación especial no. 127. Secretaría de Agricultura de Antioquia, Medellín, Colombia. 43 p.
- Fundación Fredrich Ebert 1993. Planos para la construcción de la maquinaria de procesamiento de yuca y extracción de almidón. Tegucigalpa, Honduras. 78 p.
- Gottin G. 1993. Caractérisation hydrodynamique de supports naturels en vue de les employer en biofiltration. Tesis. ENSBANA y ENSIA-SIARC. 40 p.
- Gottret MV. 1996. Caracterización tecnológica y adopción de tecnología en las rallanderías del departamento del Cauca, Colombia. Trabajo presentado en el II Simposio Latinoamericano de Investigación y Extensión en Sistemas Agroalimentarios, Bogotá, Colombia. CIAT, Cali, Colombia. 15 p.
- Gottret V; Henry G; Dufour D. 1997a. Adoption et impact de la transformation du manioc en amidon aigre. Cahiers de la Recherche et du Développement 44:38-60.
- Gottret V; Henry G; Dufour D. 1997b. Caractérisation de l'agroindustrie de production d'amidon aigre de manioc en Colombie. Cahiers de la Recherche et du Développement 43:67-82.
- Griffon D; Zakhia N. 1993-1995. Valorisation des produits, sous-produits et déchets de la petite et moyenne industrie de transformation du manioc en Amérique Latine. Contrato con la Unión Europea. CIRAD-SAR, Montpellier, Francia.
- Henry G; Gottret V. 1998. Client-led agro-industrial action development: The case of cassava starch in Cauca Valley, Colombia. En: Rural livelihoods, empowerment and the environment going beyond the farm boundary. Memorias. XV AFSRE International Symposium, Pretoria, South Africa, noviembre 1998. Vol. 2, p. 1091-1099.
- Jaramillo H. 1991. Mejoramiento mecánico de los equipos para la producción de almidón de yuca. Informe. CUAO, Cali, Colombia. 25 p.
- Jaramillo H. 1992. Almidón agrio: Cartilla para rallanderos. CIAT y CUAO, Cali Colombia. 29 p.
- Jaramillo HE; Nieva LF. 1992. Diseño de una máquina lavadora-peladora de yuca de sistema continuo. Tesis. CUAO, Cali, Colombia. 88 p.
- Jory M. 1989. Amidon aigre de manioc: Étude préliminaire de la filière de transformation traditionnelle et particulièrement de la phase de fermentation. Tesis (Maestría). ENSIA y CIRAD, Montpellier, Francia. 45 p.
- Lenis M; Patiño MV; Perea I. 1990. Diagnóstico y mejoramiento del sistema productivo de la agroindustria de la extracción del almidón agrio de yuca en el norte del Cauca. Tesis. CUAO, División de Ciencias Económicas y Sociales, Cali, Colombia. 224 p.
- Marder RC; Curran A. 1993. Visit to Brazil to conduct a technico-economic assessment of the sour cassava starch industry. Informe de proyecto. 50 p.
- Marder RC; Araújo-Cruz R; Moreno MA; Curran A; Trim D. 1996. Investigating sour starch production in Brazil. En: Dufour D; O'Brien GM; Best R (eds.). Cassava flour and starch: Progress in research and development. CIRAD-SAR y CIAT, Cali, Colombia. p. 247-259.



- Montoya AP; Uribe SC. 1992. Diseño de una planta modelo transformadora de yuca en almidón y sus derivados. Tesis. CUAO, Cali, Colombia. 200 p.
- Moreno, MA. 1999. Diseño de una planta piloto para la producción de almidón agrícola de yuca. Informe final de proyecto de investigación. UNIVALLE, Cali, Colombia. (Multicopiado.)
- Mosquera L; Chacón MP; Henry G; Chuzel G. 1996. Cassava starch in Northern Cauca, Colombia: Socioeconomic evaluation of its production and commerce. En: Dufour D; O'Brien GM; Best R (eds.). Cassava flour and starch: Progress in research and development. CIRAD-SAR y CIAT, Cali, Colombia. p. 30-42.
- Muñoz P; Otero JC. 1991. Diseño de una máquina tamizadora circular y vibradora para almidón de yuca. Tesis. CUAO, Programa de Ingeniería Mecánica, Cali, Colombia. 335 p.
- Ochoa GL; Bedoya JP. 1996. Gestión empresarial: Situación de las rallanderías y trapiches paneleros del norte del Cauca. Informe final. Proyecto de apoyo a la agroindustria rural. Fundación Carvajal y PRODAR, Cali, Colombia. 27 p.
- Ochoa GL; Bedoya JP; Dufour D. 1997. Système de gestion de deux agro-entreprises rurales de production d'amidon aigre de manioc et de panela en Colombie. Cahiers de la Recherche et du Développement 44:60-73.
- Perdrix E. 1994. Etudes de cas d'entreprises semi-industrielles d'amidonaigre de manioc dans l'état du Minas Gerais (Brésil). Tesis. ENSIA y SIARC. 48 p.
- Pérez DV. 1991. Desarrollo de una herramienta para el rallado de yuca. Tesis. UNIVALLE, Facultad de Ingeniería, Cali, Colombia. 122 p.
- Pérez DV. 1992. Reforma mecánica en un sistema rallado-colado para extracción de almidón de yuca. Informe de proyecto. CIRAD-SAR y CIAT, Cali, Colombia. 63 p.
- Pinto R. 1978. Extracción de almidón de yuca en rallanderías. ICA Informa (Colombia) 12:3-6.
- Pinto RS; Rincón CJ. 1981. Propuesta para la generación de tecnología en los procesos de obtención de almidón de yuca. ICA, Programa de procesos agropecuarios, C.I. Tibaitatá, Colombia. 35 p.
- Poats S. 1993. Ecuador integrated cassava R1D Project (ICRDP). En: Cassava Program Annual Report 1993. Documento de trabajo no. 146. CIAT, Cali, Colombia. p. 275-306.
- Rivier M. 1997. Relevé des équipements et unités de fabrication d'amidon aigre de manioc. Informe de misión en Colombia, 1997. Documento no. 131/97. CIRAD-SAR, Montpellier, Francia. 25 p.
- Rojas ChO; Torres LP; Alazard D; Farinet JL; De Cardozo ZMC. 1996. Cassava starch extraction: A typical rural agroindustry with a high contamination potential. En: Dufour D; O'Brien GM; Best R (eds.). Cassava flour and starch: Progress in research and development. CIRAD-SAR y CIAT, Cali, Colombia. p. 233-238.
- Ruiz R. 1991. Agroindustria de almidón agrícola en el norte del Cauca. En: Avances sobre almidón de yuca. Reunión de trabajo, junio 1991. CIAT, Cali, Colombia.
- Ruiz V. 1996. Implementing technological innovations in cassava flour and starch processing: A case study in Ecuador. En: Dufour D; O'Brien GM; Best R (eds.). Cassava flour and starch: Progress in research and development. CIRAD-SAR y CIAT, Cali, Colombia. p. 259-262.
- SEDECOM. 1988. Mejoramiento tecnológico para plantas de almidón de yuca en el norte del Cauca. Informe de proyecto, no. 2. Cali, Colombia. 44 p.
- Seemann B. 1993. Amélioration technique et économique du procédé de fabrication de l'amidon aigre de manioc. Proyecto de unidad piloto. Informe de progreso. CESI y CIRAD. Tolosa, Francia. 16 p.
- Soto-Carvajal O. 1992. Levantamiento de planos, historia y funcionamiento de equipos existentes en planta productora de almidón de yuca. Tesis. CUAO, División de Ingeniería, Cali, Colombia. 46 p. + planos.
- Tanasi A. 1991. Les produits dérivés du manioc en Equateur et leurs caractérisations, en vue d'une optimisation industrielle. Informe. Centre National d'études agronomiques des régions chaudes (C.N.E.A.R.C.) et Centre de Recherches en Machinisme Agricole et en Technologies Alimentaires des Pays Tropicaux (C.E.E.M.A.T.), Francia. 60 p.
- Tischer I; Moreno MA; Andrade M. (2001). El mejoramiento de la calidad y la productividad en la rallandería de yuca. Energía y Computación (Cali). (Presentado para publicación.)
- Westby A; Pascoli-Cereda M. 1994. Production of fermented cassava starch (polvilho azedo) in Brazil. Trop. Sci. 34:203-210.
- Zakhia N; Chuzel G; Brabet C; Dufour D. 1995. Cassava fermentation: Cassava sour starch in Latin America. En: The cassava biotechnology network. Memorias. Second International Scientific Meeting, Bogor, Indonesia, agosto 1994. CIAT, Cali, Colombia. p. 651-661.
- Zakhia N; Dufour D; Chuzel G; Griffon D. 1996. Review of sour cassava starch production in rural Colombian areas. Trop. Sci. 36:247-255.

**Glosario**

**Glossaire**

**Glossary**

# Glosario - Glossaire - Glossary

Este glosario sirve de clave para traducir las palabras empleadas en las leyendas de las láminas (planches) y en los planos (plans) de este manual, que están en francés.

Use this glossary as a key to help you understand the captions of the plates (planches) and plans (plans) of this manual, which only appear in French.

## Français

à  
admission  
aigre  
alimentation  
aluminium  
amidon  
amovible  
année  
arbre  
arête tranchante  
arrosage  
articulation  
artisanale  
aube  
axe

bague  
bâtiment  
batteur  
béton  
bielle  
bloc  
bois  
boîtier  
bout à bout  
broyeur

cadre  
cadre vibrant  
came  
camion  
canal  
canaux  
capot  
carré  
carter  
carter de protection  
chalumeau  
charnière  
chassis  
compris  
cornière  
cote  
côté  
coupe  
cours  
cylindre

## Español

en  
admisión  
agrio  
alimentación  
aluminio  
almidón  
removible  
año  
árbol, eje  
arista  
ducha, aspersión, chorro  
articulación de pasador  
artesanal  
cuchara  
árbol, eje

buje, argolla  
edificio, construcción  
molino triturador  
concreto, hormigón  
biela  
bloque  
madera  
caja  
de extremo a extremo  
molino quebrador

marco (chasis)  
marco vibrante  
leva  
camión  
canal  
canales  
capó, cubierta  
cuadrado  
cárter  
'carcaza'  
soplete  
bisagra  
chasis, marco  
incluido  
ángulo  
dimensión. cota  
lado  
corte  
curso  
cilindro

## English

in, at  
intake, feed  
sour  
supply (supplying), feeding  
aluminum  
starch  
removable  
year  
shaft, axis  
cutting edge (of a perforation)  
spraying, shower  
pin-joint  
artisanal, craft  
trough  
axis, shaft

bushing, sleeve, collar  
facility, infrastructure  
crusher  
concrete  
coupling rod  
block  
wood  
case, box, gearbox  
out to out  
pulverizing mill, grinder, crusher

frame  
vibrating frame  
cam  
truck  
channel  
channels  
cover, capot, case  
square  
housing  
projection guard  
blowtorch  
hinge  
chassis  
included  
angle, iron angle  
dimension  
side  
cut, section  
course  
cylinder

**Français**

découpe  
déflecteur  
densité  
déposé  
dessin  
dessus  
détail  
deuxième  
développement  
double  
droit(e)

échelle  
éclaté  
égouttage  
élastique  
emboutissage  
emoteur  
emporte pièce  
encastrement  
ensemble  
entrée  
entretoise  
épaisseur (=ep)  
éplucheuse  
et  
excentrique  
extracteur  
extraction

fabrication  
face  
fait(e)  
fer plat  
fer rond  
fibres fines  
fibres grossières  
filete  
fixation  
fixe  
fixer  
flasque  
function

galvanisé (galva)  
gauche  
général(e)  
génie civil  
glissière  
goujon  
goulotte  
gravité  
grille

indexeur  
installation  
intérieur

**Español**

ranura  
deflector  
densidad  
depositado  
diseño  
arriba  
detalle  
segundo(a)  
desarrollo  
doble  
derecho(a)

escala  
despiece  
escurrimiento  
elástico  
empotrado  
molino  
punzón, cincel  
empalme  
ensamble  
entrada  
soporte  
espesor  
peladora  
y  
excéntrica  
coladora, tamiz  
extracción

fabricación  
frente (frontal)  
hecho(a)  
platina de hierro  
varilla de hierro  
afrechillo  
afrecho  
filete, rosca  
fijación  
fijo  
fijar  
costado  
función

galvanizado  
izquierda  
general  
estructura civil  
riel  
tornillo  
tolva  
gravedad  
rejilla

fijador  
instalación  
interior

**English**

slot, groove  
deflector  
density  
settled  
design  
top  
detail  
second  
development  
double  
right

scale  
exploded view  
drainage  
elastic  
embedded  
mill, grinder, crusher  
punch, cutting punch  
butt joint  
assembly  
inlet, entry  
support  
thickness  
peeler  
and  
eccentric (wheel, disc)  
sifter, strainer  
extraction

manufacture  
front  
made  
flat iron girder  
round iron girder  
residues (fibrous)  
bagasse (residues)  
thread  
fastening  
fixed  
attach  
side  
function

galvanized  
left  
general  
supporting framework  
rail  
pin  
hopper  
gravity  
grille, grate

pointer, index  
installation  
interior

**Français**

interne  
 joindre  
 largeur  
 laveuse-éplucheuse  
 levier  
 liaison  
 ligne  
 longueur  
  
 machine  
 maçonnerie  
 manioc  
 matière  
 meulées  
 montage  
 mouvement  
 moyeu  
  
 orifice  
 outillage  
  
 pale  
 palier  
 parois  
 passage  
 perçage  
 perforation  
 perspective  
 pivotant  
 pivoter  
 planche  
 plaque  
 plat  
 plat(e)  
 plate-forme  
 platine  
 poinçon  
 position  
 positionnement  
 poulie  
 pour  
 premier  
 pression  
 prévoir  
 principal  
 production  
  
 racines  
 ramassage  
 rampe  
 râpe  
 rayon  
 réalisation  
 récupération  
 réglable

**Español**

interno  
 unir  
  
 ancho  
 lavadora-peladora  
 palanca  
 unión  
 línea  
 longitud  
  
 máquina  
 mampostería, concreto  
 yuca  
 material  
 amoladas, limadas  
 montaje  
 movimiento  
 rin  
  
 orificio  
 herramienta  
  
 aspa  
 chumacera  
 pared, muro  
 paso  
 hueco  
 perforación  
 perspectiva  
 pivotante  
 pivotar  
 lámina  
 lámina, placa  
 platina  
 plano(a)  
 plataforma  
 platina  
 punzón  
 posición  
 posición, establecimiento  
 polea  
 para  
 primero(a)  
 presión  
 prever  
 principal  
 producción  
  
 raíces  
 cosecha  
 tubo perforado  
 rallo  
 radio  
 realización  
 recuperación  
 regulable

**English**

intern  
 join  
  
 width  
 washer peeler  
 lever  
 joint, link  
 line  
 length  
  
 machine  
 brickwork  
 cassava  
 material  
 grinded  
 layout  
 movement  
 hub, collar  
  
 opening, mouty  
 tool  
  
 paddle  
 axle bearing bushing  
 panel, wall  
 passage, way  
 hole, hollow  
 punch  
 perspective view  
 pivoting  
 pivot, revolve  
 plate (thin metal)  
 plate (thin metal)  
 platen, steel flat  
 flat  
 platform  
 platen  
 punch  
 position  
 positioning  
 pulley  
 for  
 first  
 pressure  
 take into account, allow  
 main, principal  
 production  
  
 roots  
 harvest  
 spray bar  
 grater  
 spoke  
 realization  
 recovery, salvage  
 adjustable

**Français**

renfort  
représentation  
rivet  
rond  
rondelle  
rotor  
rotule  
roue  
rouleaux à rotule  
roulement

scellé  
schéma  
secondaire  
sédimentation  
simple  
sortie  
souder  
stockage  
support  
sur  
symétrique

tambour  
tamiseur  
taraudage  
tasseau  
terrain  
tige  
toile  
tôle  
tôle perforée  
tour  
transformation  
transmission  
trappe  
trémie  
troisième  
trous  
tube

unité<sup>1</sup>

vibrant  
vidange  
vis  
vis pression  
vue de côté  
vue de dessous  
vue de dessus  
vue de droite  
vue de gauche  
vue éclatée  
vue en coupe  
vue générale

**Español**

refuerzo  
representación  
remache  
barra, varilla  
disco  
rotor  
rótula  
rueda  
rodamiento de rótula  
rodamiento

empotrado  
esquema  
secundario  
sedimentación  
simple  
salida  
soldar  
almacenamiento  
soporte  
sobre  
simétrica

tambor  
tamiz, coladora  
perforación  
listón  
terreno  
barra, varilla  
tela, tejido, lienzo  
lámina  
criba  
torno  
procesamiento  
transmisión  
compuerta  
tolva  
tercero(a)  
hueco  
tubo

unidad<sup>1</sup>

vibratorio  
vaciado  
tornillo  
tornillo prisionero  
vista lateral  
vista inferior  
vista superior  
vista derecha  
vista izquierda  
despiece  
vista de sección  
vista general

**English**

reinforcement  
representation  
rivet  
bar, rod  
washer  
rotor  
hinge joint  
wheel  
bearing  
bearing

embedded  
diagram  
secondary  
sedimentation  
simple  
outlet  
weld  
storage  
support  
on  
symmetrical

drum  
sieve  
tapping  
piece of wood  
terrain  
bar, rod  
cloth, muslin  
layer, sheet metal  
screen  
lathe  
processing  
transmission  
hatch  
hopper  
third  
hole, hollow (adj.)  
pipe

plant<sup>1</sup>

vibrating  
emptying  
bolt, screw  
lock screw  
side view  
bottom view  
top view  
right view  
left view  
exploded view  
section view  
general view

1. unité de transformation de manioc en amidon = 'rallandería' = starch-extraction plant (artisanal).

**Publicación CIAT No. 323**  
**Proyecto SN-1: Desarrollo de Agroempresas Rurales**  
**y**  
**Unidad de Comunicaciones**

---

Edición: (Editing)	Francisco Motta (CIAT) Gladys Rodríguez (asistente editorial, CIAT) Elizabeth McAdam (Sydney, Australia) Michel Rivier (CIRAD, Montpellier, Francia) Martín A. Moreno (UNIVALLE)
Traducción: (Translation)	Inglés (del español): Elizabeth McAdam (Sydney, Australia) Español (del francés): Martín A. Moreno (UNIVALLE)
Dibujo: (Drawings)	Michel Rivier y Jacques Brouat (CIRAD, Montpellier, Francia)
Fotografías: (Photos)	Dominique Dufour y Michel Rivier (CIRAD, Montpellier, Francia)
Producción: (Production)	Artes Gráficas, CIAT Oscar Idárraga (diagramación) Julio C. Martínez (diseño de carátula)
Impresión: (Printing)	Feriva S.A. (Cali, Colombia)

---