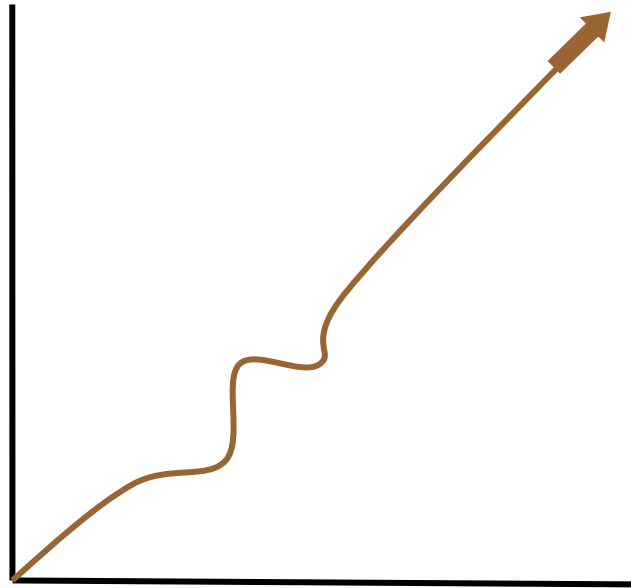




INDUSTRIALIZACIÓN DE LA YUCA

Obtención de almidón nativo y sus aplicaciones



INDUSTRIALIZACIÓN DE LA YUCA

Obtención de almidón nativo y sus aplicaciones

Realizado por:
Susana Montoya Henao
Tecnología De Alimentos

Editor:
Juan Sebastián Ramírez Navas
Ingeniero Químico

Manejo de sólidos y fluidos

TECNOLOGIA EN ALIMENTOS
UNIVERSIDAD DEL VALLE
2007

INDUSTRIALIZACIÓN DE LA YUCA

Para consultas o comentarios, ponerse en contacto con:

Susana Montoya Henao

e-mail: susa_montoya@hotmail.com

IQ. Juan Sebastián Ramírez Navas

e-mail: juansebastian_r@hotmail.com

Las opiniones expresadas no son necesariamente opiniones de la Universidad del Valle de sus órganos o de sus funcionarios.

Edición:

2007 © Manejo de Sólidos y Fluidos.

Cali – Valle – Colombia

e-mail: juansebastian_r@hotmail.com

Susana Montoya Henao.

TABLA DE CONTENIDO.

RESUMEN	6
1 INTRODUCCION	7
2 ANTECEDENTES	8
3 REVISION HISTORICA	9
3.1 1511	9
3.2 1960.	9
3.3 2002.	10
3.4 EN LA ACTUALIDAD.	10
4 FUNDAMENTOS TEORICOS	12
4.1 ALMIDÓN DE YUCA.	12
4.2 ALMIDÓN NATIVO DE YUCA.	12
4.3 ALMIDÓN AGRIO DE YUCA.	13
4.4 DESINTOXIFICACION DE LA YUCA.	13
4.4.1 Métodos en los que se emplea solo el calor y el agua.	14
4.4.2 Elaboración en seco (para conservación)	14
4.4.3 Elaboración en húmedo	14
4.4.4 Desintoxicación mediante fermentación.	14
4.5 NOMENCLATURA.	15
5 OPERACIONES UNITARIAS.	17
5.1 PROCESO DE OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DE YUCA.	17
5.1.1 Recepción de raíces de yuca fresca.	17
5.1.2 Lavado y pelado de las raíces:	17
5.1.3 Rallado o desintegración:	18
5.1.4 Colado o extracción:	18
5.1.5 Sedimentación o deshidratación:	18
5.1.6 Secado:	18
5.1.7 Acondicionamiento:	18
5.1.8 Subproductos en el proceso del almidon de yuca.	18
6 MODELOS MATEMATICOS.	21
7 PROCESO PRODUCTIVO	23
7.1 PRODUCTO FRESCO.	23
7.2 ALMIDONES.	23
7.3 HARINA DE YUCA.	24
7.4 ALMIDONES MODIFICADOS.	24
7.5 DIAGRAMA DETALLADO DE EQUIPOS EN LA PRODUCCIÓN DE ALMIDÓN	25
7.6 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA PRODUCCION DE ALMIDON DE YUCA.	26

INDUSTRIALIZACIÓN DE LA YUCA

7.7 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LAS OPERACIONES DE PRODUCCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA, APROVECHANDO EL GRADIENTE DE GRAVEDAD QUE OFRECE LA TOPOGRAFÍA DEL TERRENO. 27

8 PROCESADO DE LA YUCA EN COLOMBIA (EST. DEL ARTE) 28

8.1 RALLANDERIAS.	28
8.2 PROCESO REALIZADO DE FORMA ARTESANAL, SEMIMECANIZADA Y MECANIZADA.	28
8.3 MANUFACTURA DE ALMIDÓN A ESCALA ARTESANAL.	28
8.3.1 Lavado de la yuca con los pies.	28
8.3.2 Pelado manual de raíces de yuca.	29
8.3.3 Rallado manual.	29
8.3.4 Colado de pulpa o material fibroso.	29
8.3.5 Secado sobre techos de tejas de zinc	30
8.3.6 Secado sobre esteras	30
8.4 MANUFACTURA DE ALMIDÓN SEMIMECANIZADA.	30
8.4.1 Maquina lavadora/peladora.	30
8.4.2 Rayador de raíces de yuca.	31
8.4.3 Coladora y tamiz vibratorio.	31
8.4.4 Tanques y canales de sedimentación.	31
8.4.5 Secado en patio de concreto.	32
8.4.6 Secado en bandejas	32
8.5 TECNOLOGÍA MECANIZADA DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA	32
8.5.1 Recepción de materia prima.	32
8.5.2 Prelimpieza de raíces.	33
8.5.3 Lavado y pelado de raíces.	33
8.5.4 Inspección de raíces.	33
8.5.5 Triturador.	34
8.5.6 Desintegrador.	34
8.5.7 Tamizadoras o extractoras.	34
8.5.8 Tanque pulmón o de bombeo.	35
8.5.9 Centrifuga primaria.	35

9 OBTENCION DE DEXTRINAS 36

9.1 DEXTRINAS.	36
9.2 DEXTRINIZACIÓN	36
9.3 MÉTODO SECO	36
9.4 MÉTODO HÚMEDO.	37
9.5 LÍNEA DE PROCESO DE LA PRODUCCION DE DEXTRINAS A APERTIR DEL ALMIDON NATIVO DE UNA RALLANDERIA DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA	38

10 LA YUCA Y LA BIOTECNOLOGIA 39

10.1 RAICES SIN CIANOGENOS Y CON CAROTENOS	39
--------------------------------------------	----

11 REFERENCIAS 40

RESUMEN

La yuca es un cultivo netamente tropical; por consiguiente, casi toda la investigación que se hace sobre este cultivo ocurre en los países en vías de desarrollo que ocupan la zona intertropical del planeta. Durante los últimos 30 años el CIAT ha sido el líder en la investigación de la yuca, desarrollando una estrecha colaboración en esta tarea con múltiples entidades locales, nacionales e internacionales.

A pesar de su enorme potencial productivo, su destacable adaptación a una gran diversidad de ambientes, su reconocida tolerancia a factores bióticos y abióticos adversos para la producción y su diversidad de usos, la yuca no ha logrado desarrollar plenamente todo su potencial en la agricultura tropical; no obstante, la yuca permanece como un cultivo de importancia mundial y se están dando pasos acelerados para resolver algunos problemas inherentes.

El amplio mercado, al cual, la industria de la yuca se enfrenta en la actualidad, genera nuevas expectativas para la explotación de la misma como materia prima de muchos productos que son de amplia utilidad por la sociedad actual. Uno de los productos obtenidos a partir de la yuca, es el almidón nativo, el cual se utiliza para la obtención de dextrinas entre otros.

1 INTRODUCCION

La planta de yuca crece en una variada gama de condiciones tropicales: en los trópicos húmedos y cálidos de tierras bajas; en los trópicos de altitud media y en los subtrópicos con inviernos fríos y lluvias de verano. Aunque la yuca prospera en suelos fértiles, su ventaja comparativa con otros cultivos más rentables es su capacidad para crecer en suelos ácidos, de escasa fertilidad, con precipitaciones esporádicas o largos períodos de sequía. Sin embargo, no tolera encharcamientos ni condiciones salinas del suelo. Es un cultivo de amplia adaptación ya que se siembra desde el nivel del mar hasta los 1 800 msnm, a temperatura 20 y 30 °C con una humedad relativa entre 50% y 90% con una óptima de 72% y una precipitación anual entre 600 y 3 000 mm con una óptima de 1 500 mm. El cultivo de la yuca tiene una gran importancia para la seguridad alimentaria y es el cuarto producto básico más importante después del arroz, el trigo y el maíz y es un componente básico en la dieta de más de 1 000 millones de personas. Entre sus principales características se destacan su gran potencial para la producción de almidón, su tolerancia a la sequía y a los suelos degradados y su gran flexibilidad en la plantación y la cosecha adaptándose a diferentes condiciones de crecimiento. Tanto sus raíces como sus hojas son adecuadas para el consumo humano; las primeras son fuente de hidratos de carbono y las segundas de proteínas, minerales y vitaminas, particularmente carotenos y vitamina C.



2 ANTECEDENTES

En Colombia, la extracción de almidón de yuca como actividad agroindustrial empezó en los años 50. La demanda de almidón aumentó en los años siguientes y la extracción del producto se convirtió en una agroindustria netamente artesanal. Se introdujeron, entonces innovaciones mecánicas en algunas etapas del proceso y se logró aumentar la capacidad productiva de estas pequeñas fábricas, que empezaron a llamarse “rallanderías”. Esta actividad permitió el desarrollo socioeconómico de los recursos que el departamento del Cauca, (Colombia, RAD-SAR (actualmente, CIRAD-AMIS) y Proyecto Valorización de la Yuca en América Latina, con el fin de la tradición empleada



capacidad productiva de estas pequeñas fábricas, que empezaron a llamarse “rallanderías” o “rallanderías”, que permitió el desarrollo de las familias de campesinos del norte del Cauca, (Colombia, RAD-SAR (actualmente el CIAT iniciaron el Proyecto de la Yuca en América Latina con el fin de mejorar la tecnología en el procesamiento

de almidones de yuca en pequeña escala. El objetivo era desarrollar y transferir a los productores rurales una tecnología de procesamiento que mejorara la rentabilidad del proceso de extracción y la calidad del almidón de obtenían (Chuzel y Muchnik, 1993).

La mayoría de las actividades de este proyecto, incluyendo una importante encuesta hecha a los productores en 1995, se realizaron en el departamento del Cauca. Las “rallanderías” se dedican básicamente a la producción de almidón agro de yuca; solo unas pocas producen almidón natural.

3 REVISION HISTORICA



La evidencia más antigua del cultivo de Yuca proviene de los datos arqueológicos de que se cultivó en el Perú hace 4.000 años y fue uno de los primeros cultivos domesticados en América. Las siguientes referencias al cultivo de yuca provienen de la cultura Maya, hace 1400 años en Joya de Cerén (El Salvador). Otra especie, la *Mandioca esculenta* se originó posiblemente más al sur, en Brasil y Paraguay. Con su mayor potencial alimenticio, se había convertido en un alimento básico de las poblaciones nativas del norte de Sur América, sur de América central, y las islas del Caribe en la época de la llegada de los españoles, y su cultivo fue continuado con los portugueses y españoles.

El nombre científico de la yuca fue dado originalmente por Crantz en 1766. Posteriormente, fue reclasificada por Pohl en 1827 y Pax en 1910 en dos especies diferentes: yuca amarga *Manihot utilissima* y yuca dulce *M. aipi*. Sin embargo, Ciferri (1938) reconoció prioridad al trabajo de Crantz en el que se propone el nombre utilizado actualmente. Se han descrito alrededor de 98 especies del género *Manihot* de las cuales sólo la yuca tiene relevancia económica y es cultivada. La yuca recibe diferentes nombres comunes: *yuca* en el norte de América del Sur, América Central y las Antillas, *mandioca* en Argentina, Brasil y Paraguay, *cassava* en países anglo parlantes, *guacamote* en México, *aipi* y *macacheira* en Brasil y *mhogo* en swahili en los países de África oriental.

3.1 1511

“Los españoles que iniciaron la conquista y colonización de Cuba en 1511 difícilmente hubieran podido sobrevivir sin asimilar algunas de las técnicas que formaban parte de la más compleja de las culturas que existían ya en el país, la de los indios taínos. Los elementos fundamentales de esa cultura (el idioma, las creencias y la organización social) desaparecieron junto con los indios mismos, pero algunos saberes técnicos de los taínos sobrevivieron hasta nuestros días. Entre ellos está el cultivo y **procesamiento de la yuca** (*Manihot esculenta*), la planta fundamental en la dieta de los aborígenes. Los colonos españoles aprendieron de los indios cómo hacer el *casabe* (grandes tortas de harina de yuca, que sustituían al pan de trigo), el cual todavía se produce en algunos sitios del país”.

3.2 1960.

A su vez, el desconocimiento que durante años tuvo el mercado mundial sobre los beneficios de la yuca no permitió su cultivo y exportación en países desarrollados. Sin embargo, en 1960, año en que se fundaron el CIAT en Colombia y el IITA en Nigeria, la yuca tomó una nueva proyección.

3.3 2002.

La producción mundial de Yuca está estimada en 184 millones de toneladas en 2002, la mayoría de la producción se encuentra en África, donde crecen 99.1 millones de toneladas, 51.5 en Asia y 33.2 en América Latina.

3.4 En la actualidad.

Los avances logrados en los últimos años en el desarrollo de variedades de yuca con alto potencial de rendimiento ayudan a mejorar la productividad y la competitividad del cultivo y le permiten entrar en diferentes mercados, especialmente en los servidos por las industrias de alimentación animal y usos industriales (almidón y pegantes).

En África, la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) ha desempeñado un papel importan-



te en el campo agrícola. El Sistema GCIAI la considera como el cultivo raíz más importante de África, al sur del Sahara; el consumo promedio excede los 300 kg por persona por año en algunas zonas. Igualmente, su naturaleza resistente ha hecho que se introduzca en un mayor número de zonas marginales. No obstante, la yuca se enfrenta a limitaciones de producción como plagas, enfermedades y baja fertilidad del suelo en cualquier parte del continente donde se cultiva. Algunos de los problemas más graves de enfermedades, por ejemplo, el mosaico de la yuca, están presentes en África. El Proyecto del CIAT “Mejoramiento Genético de la Yuca”, como parte de su responsabilidad mundial de mejorar la yuca, reconoce la importancia de este cultivo en África y busca aumentar la productividad, mediante el suministro de germoplasma mejorado y

la capacitación en métodos convencionales y nuevos de mejoramiento de la yuca.

Su adaptación a diversos ecosistemas, su potencial de producción y la versatilidad de su mercado y de su uso final la han convertido en la base de la alimentación de la población rural de la región y en una alternativa de comercialización para los centros urbanos.

En vista de este potencial, durante las últimas décadas la investigación del cultivo de la yuca en la región ha sido liderada por el Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT, con la colaboración de diversas entidades y programas nacionales, financiada con fondos públicos.

INDUSTRIALIZACIÓN DE LA YUCA

Al finalizar la década de los 80, este modelo dejó de ser viable debido a los cambios ocurridos en el escenario socioeconómico mundial. Las instituciones y los países sintieron entonces la necesidad de organizarse y establecer alianzas estratégicas para continuar con sus actividades de investigación.

El sector yuquero experimentó, de igual forma, la presión del cambio y orientó sus esfuerzos para buscar acceso a las nuevas tecnologías de producción.

4 FUNDAMENTOS TEORICOS

4.1 Almidón de yuca.

El almidón puede hallarse en la naturaleza como pequeños gránulos depositados en semillas, tubérculos y raíces de distintas plantas; es una mezcla de dos polímeros, amilosa y amilopectina, cuya proporción relativa en cualquier almidón, así como el peso molecular específico y el tamaño de los gránulos, determinan sus propiedades fisicoquímicas y su potencialidad de aprovechamiento ciertos procesos industriales.

El almidón de yuca tiene una amplia gama de aplicaciones en la industria de alimentos, de papel y cartón, textil, farmacéutica y de adhesivos, entre otros. Sin embargo, la mayoría de los almidones usados en estos sectores son modificados, los cuales han sido desarrollados para reducir una o más de las limitaciones que tiene el almidón nativo para uso industrial. Las modificaciones en el almidón involucran el tratamiento del gránulo por medios físicos, químicos y bioquímicos que causan la ruptura de algunas o todas las moléculas, lo cual permite realzar o inhibir en el almidón propiedades como consistencia, poder aglutinante, estabilidad a cambios en el pH y temperatura, y mejorar su gelificación, dispersión o fluidez.

4.2 Almidón nativo de yuca.

El almidón nativo es el que sigue el proceso de producción de almidón sin pasar por una fermentación, lo que se realiza es una hidrólisis ya sea parcial, parcial con ácidos y total acida o enzimática.

Este almidón tiene diversos usos; sus propiedades como espesante, aglutinante, estabilizante y mejorador de textura le dan una demanda potencial que tiende a crecer mundialmente.

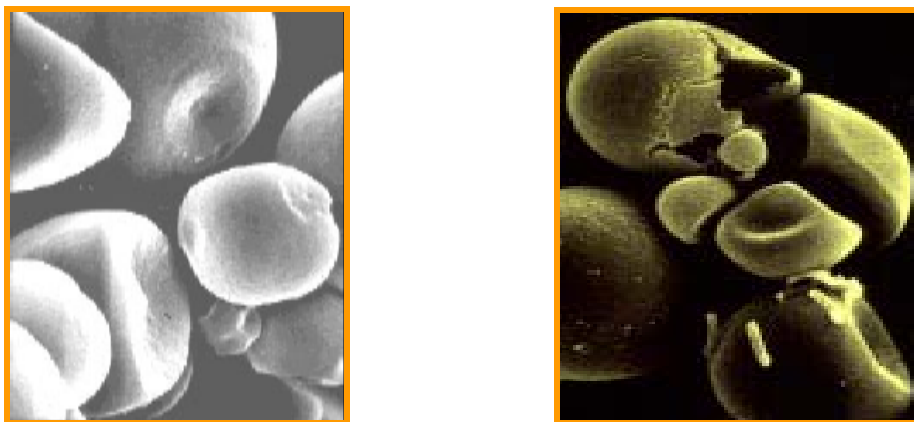


Figura 1. Gránulos de almidón natural (o nativo) de yuca: Vistos con el microscopio electrónico. En los del almidón fermentado o agrio (derecha) se ve la acción erosiva de la bacteria amilolítica.

4.3 Almidón agrio de yuca.

La obtención de almidón agrio o fermentado de yuca tiene las mismas etapas de producción del almidón nativo, con la diferencia de que incluye una etapa de fermentación previa al secado. Las raíces de yuca son lavadas para eliminar tierra e impurezas y retirar la cascarilla. Luego, son ralladas para liberar los gránulos de almidón y la masa obtenida es lavada y filtrada o colada en una tela y la lechada es decantada en canales. El almidón precipitado es traspasado a tanques donde fermenta en forma natural, en condiciones anaeróbicas, por aproximadamente 30 días y luego es secado al sol, lo que le da a este almidón propiedades de expansión en el horneado. El almidón agrio adquiere, además, características especiales de sabor, textura y olor que son deseables en la panificación. Se emplea en la elaboración de productos horneados como pandebono, pandeyuca y bocadillos tales como «rosquillas» y «besitos». Este almidón es tradicional en Brasil y Colombia (Alarcón y Dufour, 1998).

4.4 DESINTOXIFICACION DE LA YUCA.

La yuca contiene cantidades pequeñas pero suficientes para causar potenciales molestias de sustancias llamadas linamarina y lotaustralina. Estos son glucósidos cianogenitos que se convierten en ácido prúsico (cianuro de hidrógeno), por la acción de la enzima lanamarasa, que también se encuentra presente en los tejidos del tubérculo.

La concentración puede variar de 10 tubérculo fresco. de yuca "amarga" concentraciones más mente cuando es zonas áridas y en fertilidad. En las das "dulce" la ma- toxinas se encuen- Algunas de estas



pueden hasta comer crudas, igual que las zanahorias frescas, después de pelarlas. Sin embargo en muchas de las variedades más frecuentemente cultivadas, que son amargas, la toxina también se halla presente en la carne feculenta del tubérculo, especialmente en el núcleo fibroso que se halla en el centro.

del ácido prúsico a 490 mg/kg de Las variedades contienen con- altas, especial- tas se cultivan en suelos de baja variedades llama- yor parte de las tra en la cascara. variedades se

Los tubérculos de yuca también contienen cianuro libre, hasta el 12% del contenido total de cianuro. (La dosis letal de cianuro de hidrógeno no combinado para un adulto es de 50 a 60 mg, sin embargo la toxicidad del cianuro combinado no es muy conocida. Los glucósidos se descomponen en el tracto digestivo humano, lo que produce la liberación de cianuro de hidrógeno. Si se hierve la yuca fresca, la

INDUSTRIALIZACIÓN DE LA YUCA

toxicidad disminuye muy poco. El glucósido linamarina es resistente al calor, y la enzima linamarasa de inactiva a 75°C.

Los métodos de elaboración de la yuca para desintoxicar los tubérculos se basan fundamentalmente en la hidrólisis enzimática para reducir la concentración de glucósidos.

Se pueden distinguir los siguientes procesos:

4.4.1 Métodos en los que se emplea solo el calor y el agua.

Preparación y cocción modificadas

- 1) Sin elaborar, solo con pelado y un lavado a fondo. Se aplica a la yuca cruda y solo para las variedades dulces.
- 2) Cocinada como se hace con los alimentos básicos feculentos no tóxicos, o mediante un hervido repetido de varias veces en varias aguas. Después se hornea, se asa o se fríe.
- 3) Machacado, precedido o seguido por el hervido o cocción a vapor. Se aplica a la pasta de yuca, llamada "dumboi" en Liberia.

4.4.2 Elaboración en seco (para conservación)

- 1) Tubérculo fresco en lonchas, secado al sol o en aire caliente (sin remojo, cocción ni fermentación)
- 2) El producto secado al sol se muele o se machaca. Se produce harina de yuca.

4.4.3 Elaboración en húmedo

- 1) Se prepara la fécula del tubérculo fresco y molido mediante sedimentación, lavado y secado. Este producto es conocido como "farinha d'agua" en Brasil.
- 2) La fécula se gelatiniza al calor. Se produce la llamada tapioca lameliforme y perlada.
- 3) Se prepara harina a partir de los tubérculos no fermentados mediante pelado, rallado, exprimido y asado. El producto se conoce como "farinha de mandioca" en Brasil.
- 4) El producto secado al sol se muele y se machaca. El producto se conoce como: Harina de yuca. En Brasil se conoce como "farinha seca"

4.4.4 Desintoxicación mediante fermentación.

Métodos de fermentación en húmedo (yuca euriada) Remojo breve o prolongado, con fermentación en agua estática o corriente, dulce o salada:

- 1) Del tubérculo entero y fresco, sin pelar, seguido de pelado, reducción de fibras y machacado. Se produce así la pasta glutinosa de yuca, llamada chickwangué en el Congo.

INDUSTRIALIZACIÓN DE LA YUCA

- 2) Del tubérculo entero y fresco, sin pelar, seguido de pelado, reducción de fibras y asado. Se produce la harina de yuca fermentada, llamada "farinha d'agua".
- 3) De todo el tubérculo, entero (o en lonchas), pelado (o sin pelar) seguido por pelado, secado al sol con aire caliente y después triturado y machacado. Se produce la harina de yuque fermentada.
- 4) Del tubérculo, entero y fresco, pelado, después hecho pulpa con la criba, lavado y sedimentado de la fécula y después leve exprimido y cocción al vapor. Pasta agria de fécula de yuca que se hace en Nigeria.
- 5) Del tubérculo entero, pelado, recién hervido (fermentado de 6 a 14 días) rallado o hecho pulpa, cribado, exprimido y después machacado. Se obtiene la pasta de yuca fermentada, llamada gogo en Camerum.
- 6) Del tubérculo pelado, recién hervido y rallado (fermentado durante la noche) enjuagado y mezclado con "semilla de legumbre" fermentada (*Pentaclethra macrophylla*). Se obtiene la harina de yuca fermentada y hervida llamada abacha en Nigeria.

4.5 Nomenclatura.

Siglas	Interpretación
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical (Colombia).
CLAYUCA	Consortio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (Colombia).
FDA	(Food and Drug Administration –U.S.A.). Administración Federal de Drogas y Alimentos – EE.UU.A.
ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
IIT	Instituto de Investigaciones Tecnológicas.
IITA	Instituto Internacional de Agricultura Tropical (Nigeria).
ISO	(International Standards Organization).
(P₁)	Pesar los crisoles vacíos.
(P₂)	Peso crisol + muestra de almidón húmedo.
(P₃)	Peso crisol + muestra de almidón seco.
LM	Absorbancia de la muestra.
LSt	Absorbancia del estándar utilizado.
[St_P]	Cantidad de fósforo que contiene el estándar utilizado (mg).
Vd	Volumen después del tratamiento de la muestra (mL).
Va	Volumen de la alícuota tomada para el desarrollo de color (mL).
P	Peso de la muestra (g).
LM	Absorbancia de la muestra.
LSt	Absorbancia del estándar utilizado.
[St_g]	Cantidad de glucosa que contiene el estándar utilizado (mg).
Fd	Factor de dilución (6666,65).
NHCl	Normalidad del ácido clorhídrico.
Fd	Factor de dilución (400).
Na	normalidad del ácido.
Va	volumen del ácido.
Nb	normalidad de la base (NaOH).
Vb	volumen de la base.
GE	Gravedad específica.
PFRAI	Peso fresco de raíces en el aire.
PFRAG	Peso fresco de raíces en el agua.

INDUSTRIALIZACIÓN DE LA YUCA

A_A	almidon recuperado en el afrecho en porcentaje.
F_R	fibra cruda en las raices frescas en porcentaje.
A_R	almidon en las raices frescas en porcentaje.
F_A	fibra cruda en el afrecho en porcentaje.
ER	eficiencia de rallado.

5 OPERACIONES UNITARIAS.

5.1 Proceso de obtención del almidón de yuca.

La extracción del almidón de la yuca puede realizarse en plantas artesanales o plantas más tecnificadas; sin embargo, el proceso en esencia es el mismo y comienza con la descarga de la materia prima en un espacio cercano a la zona de lavado y pelado, donde es desempacada y vaciada en la tolva alimentadora, luego es macerada finamente por medio de la superficie cortante del cilindro y de las cuchillas que actúan como rallos, convirtiéndola en una pasta de ralladura de yuca y liberando el almidón. En seguida, el almidón y el agua (lechada de almidón) son separados las coladoras mecánicas (filtrado) de las fibras y proteínas que las raíces contienen. La lechada de almidón pasa a una zaranda auxiliar con malla para retener impurezas y el agua y el almidón son separados en los canales de sedimentación, en los cuales los gránulos de diverso tamaño se sedimentan en el fondo. En algunos casos, parte de la mancha se separa en el tramo final de los canales; en otros, el agua sobrenadante pasa por tuberías de rebose a un tanque de sedimentación de mancha.

El almidón fresco, que es retirado manualmente de los canales de sedimentación, es sometido a un proceso biológico de fermentación anaerobia por un período de dos a tres semanas, obteniéndose el almidón agrio que se extrae de los tanques en bloques compactos y se transporta a los patios para deshidratarlo mediante la exposición a la luz solar.

5.1.1 Recepción de raíces de yuca fresca.

Gravedad específica.

Porcentaje de materia seca.

Porcentaje de almidón (b.s).

Las raíces una vez cosechadas deben ser transportadas a la planta de procesamiento dentro de las siguientes 24-48 horas para evitar su deterioro fisiológico y/o microbiano. Un factor importante en la producción de almidón de yuca de alta calidad, es que todo el proceso desde la cosecha de las raíces hasta el secado del almidón sea ejecutado en el más corto tiempo posible.

5.1.2 Lavado y pelado de las raíces:

En esta etapa se elimina la tierra y las impurezas adheridas a las raíces. La cascarrilla se desprende por la fricción de unas raíces con otras durante el proceso de lavado. Normalmente, las pérdidas en el lavado son de 2-3 por ciento del peso de las raíces frescas. Se debe evitar pérdida de la cáscara ya que esta también contiene almidón.

5.1.3 Rallado o desintegración:

En esta etapa se liberan los gránulos de almidón contenidos en las células de las raíces de la yuca. La eficiencia de esta operación determina, en gran parte, el rendimiento total del almidón en el proceso de extracción. Si el rallado no es eficiente, no se logran separar totalmente los gránulos de almidón de las fibras; el rendimiento del proceso es bajo y se pierde mucho almidón en el afrecho desechado. Por otra parte, si el rallado es demasiado fino, los gránulos muy pequeños de almidón sufren daño físico y más tarde deterioro enzimático; la sedimentación sería más lenta ya que el gránulo fino pierde densidad y además se formaría mayor cantidad de mancha (CIAT, 1995). Un factor importante que es el cálculo de la eficiencia de rallado que determina la eficiencia de liberación de los gránulos de almidón. El cual fue calculado de la siguiente manera:

5.1.4 Colado o extracción:

En esta etapa se realiza la separación de la pulpa o material fibroso de la lechada de almidón. Se debe evitar que pequeñas partículas de fibra pasen a la lechada de almidón; es por ello que en muchos casos se recomienda realizar un recolado de la lechada con el objeto de retener las fibras finas que pudieron pasar a la lechada.

5.1.5 Sedimentación o deshidratación:

Se realiza por medio de sedimentación o centrifugación, para separar los gránulos de almidón de su suspensión en agua.

5.1.6 Secado:

Puede ser realizado dependiendo del nivel tecnológico por secado solar o artificial. En ambos casos, se busca remover la humedad del almidón hasta un 12-13 por ciento.

5.1.7 Acondicionamiento:

Comprende las etapas de molienda, tamizado y empaque.

5.1.8 Subproductos en el proceso del almidón de yuca.

En el proceso de extracción de Almidón de yuca se generan subproductos tanto sólidos como líquidos. Las principales características son:

5.1.8.1 Afrecho.

Es el subproducto de la operación de colado. Una vez secado al sol, el afrecho se usa como complemento de concentrados para animales o se ofrece directamente en la alimentación animal. El análisis químico indica que el material tiene un con-

INDUSTRIALIZACIÓN DE LA YUCA

tenido de materia seca de 80 a 85%, del cual el 60 a 70% es almidón y el 12 a 14% es fibra.

5.1.8.2 Mancha.

Al terminar la sedimentación en los canales, se obtienen tres capas: la inferior y más densa es el almidón; la intermedia, que es un almidón mezclado con material proteico, espesor variable y menos denso que el almidón, es la mancha y la capa superior es el agua residual. La mancha contiene almidón de baja densidad y menor calidad y su nivel de proteína es alto, empleándose en la alimentación de porcinos y en la elaboración de adhesivos.

En algunas rallanderías, este material se sedimenta en el tramo final de los canales de sedimentación, en otras se deja sedimentar en un tanque y, en la mayoría de los casos, su separación es ineficiente debido al bajo tamaño de las partículas, lo que hace que finalmente sean arrastradas junto con el efluente líquido (agua residual). Este material líquido puede ser reutilizado en la etapa de lavado de la yuca, lo que representaría un ahorro del 17% del agua utilizada en el proceso. (Alarcón y Dufour 1998)

5.1.8.3 Agua residual.

Durante el proceso de extracción de yuca se utilizan de 8 a 9 m³ de agua por tonelada de yuca procesada. Considerando que en promedio una Rallandería tradicional procesa 4 toneladas de yuca por día y que la yuca en sí tiene un alto contenido de agua, se estima que cada Rallandería produce 36 m³ diarios de agua residual (Patiño 1993).

En el proceso se generan dos tipos de aguas residuales: las que provienen del lavado y pelado de la yuca que se caracterizan por contener gran cantidad de sólidos suspendidos (material inerte y cascarilla), valores de DQO bajos y una proporción de cianuro del orden de 40 a 70%. Las provenientes de los canales o tanques de sedimentación, presentan altas cargas orgánicas de DBO y DQO.

Mientras tradicionalmente el afrecho y la mancha han tenido un valor agregado por ser fuentes ricas en energía y proteína, siendo utilizados en la industria de alimentos concentrados para animales y en la alimentación directa de cerdos y otros animales de fincas de la región, con una producción promedio de 4450 toneladas/año de afrecho seco y 750 toneladas/año de mancha seca (Alarcón y Dufour 1998), las aguas residuales normalmente han sido descargadas a los cuerpos receptores, causando un significativo impacto negativo sobre los mismos, lo que se ha reflejado en la inhabilidad de estas fuentes para otros usos.

En el Departamento del Cauca, la mayoría de las rallanderías (62) se concentra en el Municipio de Santander de Quilichao, siendo la zona del Departamento que recibe el mayor impacto de contaminación hídrica por este tipo de efluentes, afectándose las quebradas La Chapa, La Agustina, Quimbas o la Cascada, Tiem-

INDUSTRIALIZACIÓN DE LA YUCA

bla, Mastizal y Mondomo pertenecientes a las Subcuencas de los ríos Quinamayó y Ovejas (Caicedo y Gómez 2004).

6 MODELOS MATEMATICOS.

ANÁLISIS	MODELO MATEMATICO
DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DEL GRÁNULO Técnica usada (ISI, 1999)	Peso neto individual = peso tamiz + fracción de almidón) – peso de cada tamiz vacío Gran total = Σ pesos netos individuales
CONTENIDO DE MATERIA SECA Técnica usada (ICONTEC, 2002)	% materia seca= $\frac{100 \times (P_3 - P_1)}{(P_2 - P_1)}$
PULPA Técnica usada (Grace, 1977)	Pulpa %= $\left[\frac{\text{Pesodecrisoldespuesde secado}(g) - \text{pesodecrisolvacio}(g) \times 100}{\text{pesodemuestraanalizada}(g)} \right]$
DETERMINACIÓN DEL COLOR Técnica usada (Grace, 1977)	Densidad aparente del almidon suelto (g/mL) = $\frac{[(\text{pesoprobeta} + \text{almidonsuelto})(g)] - \text{pesoprobetavacia}(g)}{250\text{mL}}$ Densidad aparente del almidon empacado (g/mL)= $\frac{[(\text{pesodeprobeta} + \text{almidonempacado})(g)] - \text{pesoprobetavacia}(g)}{\text{Volumendemuestraempacada}(mL)}$
VISCOSIDAD ALCALINA Técnica usada (Grace, 1977)	Viscosidad alcalina (grados Engler)= $\frac{\text{Tiempoquedemoraenpasarlamuestraa}27,5^{\circ}\text{C}}{\text{Tiempoquedemoraenpasaraguaa}20^{\circ}\text{C}}$
ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA, ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA Y PODER DE HINCHAMIENTO Técnica usada (Anderson <i>et al.</i> , 1969)	Indice de absorción de agua (IAA) = $\frac{\text{pesode l g e l}(g)}{\text{pesomuestra}(g)bs}$ Indice de solubilidad en agua (ISA) = $\frac{\text{pesosolubles}(g) \times V \times 10}{\text{pesomuestra}(g)bs}$ Poder de hinchamiento (PH) = $\frac{\text{pesode l g e l}(g)}{\text{pesomuestra}(g)bs - \text{pesosolubles}(g)}$
FOSFOLÍPIDOS Técnica usada (ICONTEC, 2001)	% de fosforo = $\frac{LM \times [St_p] \times Vd \times 100}{LSt \times P \times Va \times 1000}$
CONTENIDO DE ALMIDÓN Técnica usada (Mestres, 1993)	% Almidon = $\frac{LM}{LSt} [St_g] \times 2,4$
NITRÓGENO TOTAL Técnica usada (AOAC, 2000)	Nitrogeno total (%) =

INDUSTRIALIZACIÓN DE LA YUCA

	$\frac{(m_{\text{Lacidogastado en muestra}} - m_{\text{Lacidogastado en blanco}}) \times 1,4 \times \text{NHCl}}{\text{peso muestra (g)}}$
AZÚCARES REDUCTORES Técnica usada (Cronin y Smith, 1979)	$\% \text{ Glucosa} = \frac{LM}{LSt} \times St_g \times Fd \times \frac{100}{P} \times 10^{-6}$ $\% \text{ Glucosa} = \frac{LM}{LSt} \times [St_g] \times 0,02$
VALOR REDUCTOR ALCALINO Técnica usada (Schoch, 1964)	$\text{Numero ferricianuro} = \frac{(Volumen blanco - Volumen muestra) \times \text{molaridad tiosulfato} \times 10}{\text{peso muestra (g)}(bs)}$
ACIDEZ TITULABLE Y PH Técnica usada (ISI, 1999)	$Na \times Va = Nb \times Vb$
CONTENIDO DE CENIZAS Técnica usada (AOAC, 2000)	$\text{Cenizas (\%)} = \frac{\text{peso de las cenizas (g)} \times 100}{\text{peso de muestra (g)}}$
ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE MATERIA SECA Y DE ALMIDÓN EN YUCA. MÉTODO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Técnica usada (Toro y Cañas, 1979)	$GE = \frac{PFRAI}{PFRAI - PFRAG}$
EFICIENCIA DE RALLADO	$ER = \left[1 - \frac{A_A \times F_R}{A_R \times F_A} \right] \times 100$

7 PROCESO PRODUCTIVO

La yuca (*Manihot exculenta Crantz*) es una de las mayores fuentes de carbohidratos que consume una gran parte de la población de las áreas marginales de la costa ecuatoriana, así como de la región oriental. Sus raíces, tanto frescas como secas, se emplean en la alimentación humana y animal, vislumbrándose un gran potencial agroindustrial y posibilidades de exportación.

7.1 Producto fresco.



Gran parte de la yuca se utiliza para el consumo y satisfacción de la gastronomía de gran parte de los latinoamericanos.

7.2 Almidones.



El almidón es uno de los principales componentes de la yuca y de otras raíces y tubérculos, se encuentra almacenado en gránulos y se extrae utilizando un proceso de disolución en agua y filtrado con mantas. Su composición química es básicamente de amilasa y amilopectina, dos carbohidratos de estructura diferente, que son los que le dan las propiedades funcionales al almidón. Ambos se encuentran en proporciones diferentes dependiendo de donde se obtenga el almidón y de otras variables.

INDUSTRIALIZACIÓN DE LA YUCA

El almidón de yuca también se conoce como Tapioca y es utilizado en la industria alimentaria como ligante de agua, coadyuvante de emulsificantes, fuente de carbohidratos, espesante y agente texturizante.

7.3 Harina de Yuca.

Una forma de preservar la yuca fresca es picarla, secarla y molerla para ser incorporada en los alimentos concentrados para aves, camarones, cerdo y ganado lechero. También la harina de yuca se puede utilizar para la industria de alimentos. El potencial de mercado de la harina de yuca para uso de productos alimenticios diferentes al pan ha creado la necesidad de evaluar sistemas para producir harinas en el nivel de la planta de procesamiento de las raíces. La yuca puede convertirse en una harina de alta calidad para utilizarse como sustituto de la harina de trigo, maíz y arroz entre otros. En formulaciones de alimentos tales como pan, pasta, mezclas, etc.

A la harina de yuca se le pueden dar diferentes usos según los procesos a los cuales se somete. Las diferentes harinas obtenidas son: Harina integral no descortezada (alimento para ganado y camarones en cultivo), Harina integral para la fabricación de tableros contrapechados, Harina descortezada para forraje (alimento para ganado y camarones en cultivo), Harina descortezada para consumo humano y Almidón o harina para fabricar cola (pegamento).

7.4 Biocombustible de la yuca.

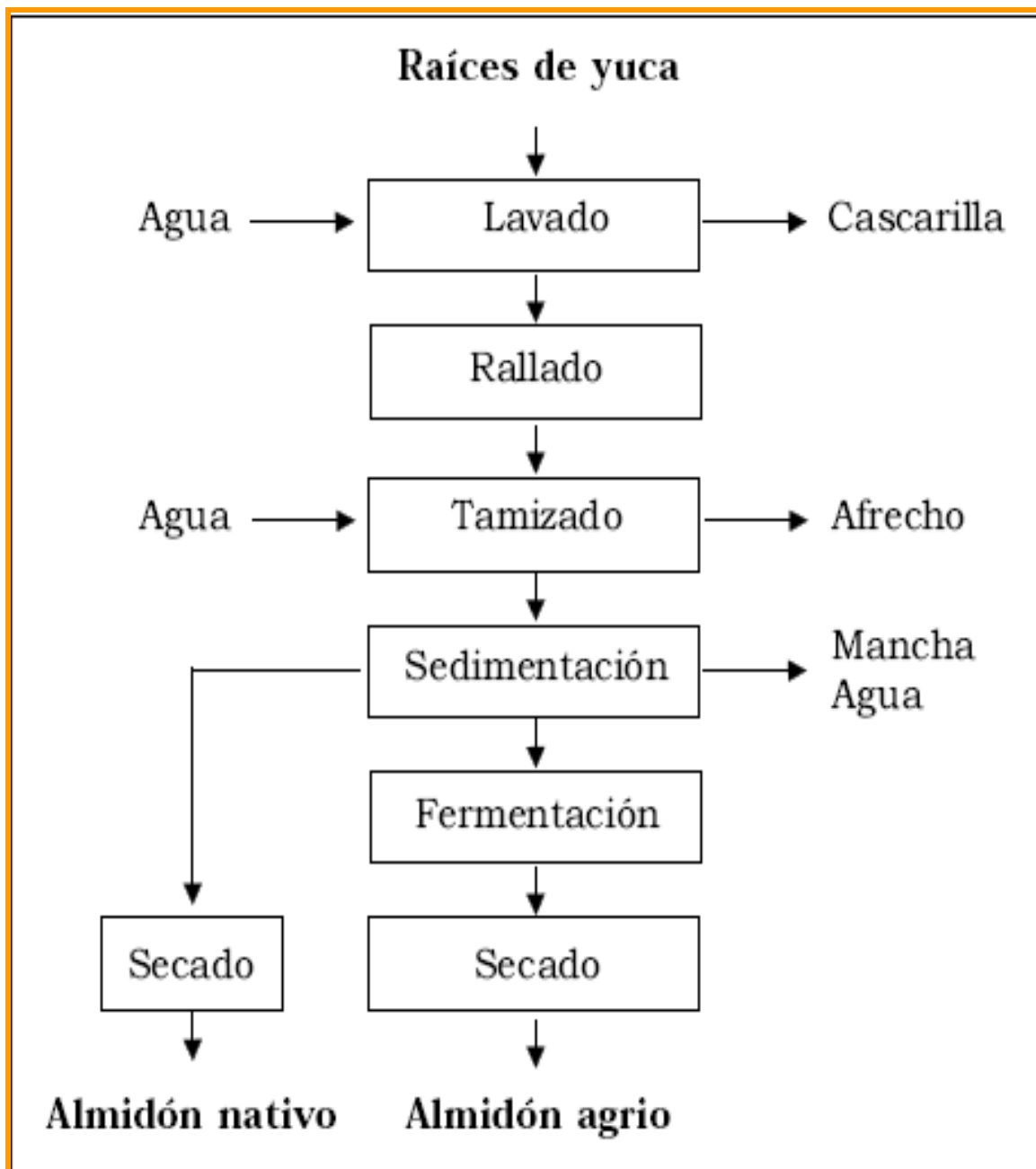


El almidón líquido de la yuca se fermenta de dos a cuatro días con una levadura (*Endomycopsis fibuligera*), a veces en combinación con una bacteria (*Zymomonas mobilis*). Un establecimiento básico de producción (mondadoras, ralladoras, fermentadoras y un alambique) puede producir unos 280 litros de etanol puro al 96%, a partir de una tonelada de yuca con un 30% de almidón.

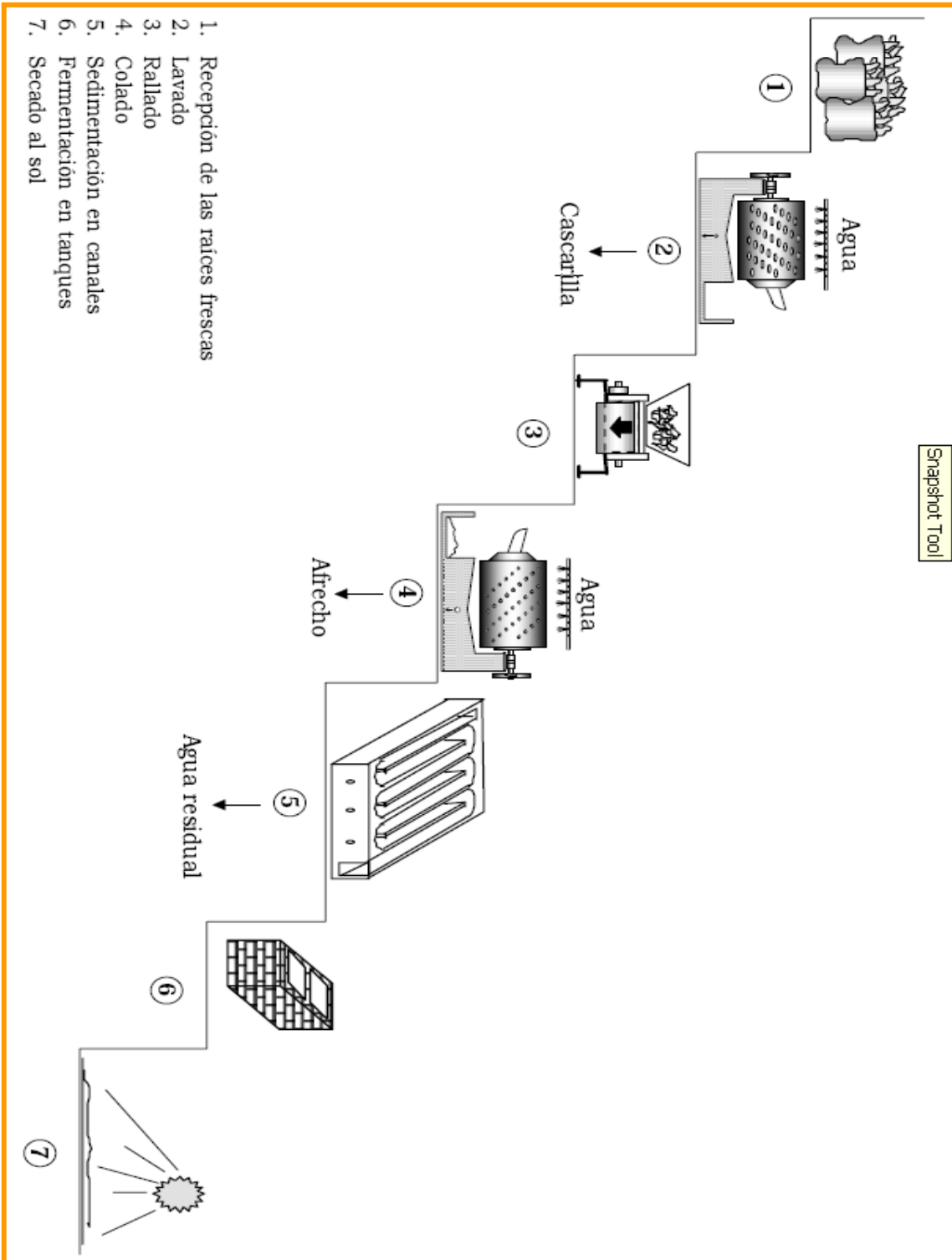
7.5 Almidones modificados.

El almidón empleado para estas modificaciones es el nativo, por sus propiedades anteriormente nombradas. Las principales modificaciones son la degradación, la pregelatinización y la derivatización, los cuales se resumen a continuación, junto con los almidones modificados y sus aplicaciones (Vian, 1994).

7.7 Diagrama de bloques de la producción de almidón de yuca.



7.8 Diagrama esquemático de las operaciones de producción de almidón de yuca, aprovechando el gradiente de gravedad que ofrece la topografía del terreno.



8 PROCESADO DE LA YUCA EN COLOMBIA (EST. DEL ARTE)

8.1 Rallanderías.

Las rallanderías son un tipo de agroindustria rural destinadas a la extracción del almidón de yuca, siendo una fuente de empleo de muchas familias ubicadas en su mayoría en el norte del departamento del Cauca, Colombia. Existen alrededor de 148 rallanderías (2003) en esta zona, las cuales presentan niveles de tecnología artesanal, donde casi todas las operaciones de proceso son realizadas en forma manual y otras de media escala, en donde algunas de las etapas de proceso han sido mecanizadas. El único producto de esta agroindustria es el almidón agrio que es utilizado para la elaboración de productos tradicionales como el pandebono, pandeyuca, besitos y rosquillas, entre otros. La generación de nuevos mercados para el almidón de yuca y el desarrollo de nuevos productos de mayor valor agregado ayudaría al desarrollo de esta agroindustria y a su diversificación.

8.2 Proceso realizado de forma artesanal, semimecanizada y mecanizada.

Desde los inicios de la industrialización de la yuca se ha buscado mejorar el rendimiento de la producción mediante la mecanización de los procesos. Anteriormente los procesos eran muy artesanales, a pesar, de los avances y aportes que han realizado diversas instituciones aun existen industrias que pertenecen a familias numerosas del departamento del Cauca, las cuales, manejan un proceso muy manual; en otras algunos pasos se encuentran mecanizados; por ultimo se tiene las industrias que son totalmente mecanizadas.

8.3 Manufactura de almidón a escala artesanal.

8.3.1 Lavado de la yuca con los pies.



INDUSTRIALIZACIÓN DE LA YUCA

8.3.2 Pelado manual de raíces de yuca.



8.3.3 Rallado manual.



8.3.4 Colado de pulpa o material fibroso.



INDUSTRIALIZACIÓN DE LA YUCA

8.3.5 Secado sobre techos de tejas de zinc



8.3.6 Secado sobre esteras



8.4 Manufactura de almidón semimecanizada.

8.4.1 Maquina lavadora/peladora.



INDUSTRIALIZACIÓN DE LA YUCA

8.4.2 Rayador de raíces de yuca.



8.4.3 Coladora y tamiz vibratorio.



8.4.4 Tanques y canales de sedimentación.



INDUSTRIALIZACIÓN DE LA YUCA

8.4.5 Secado en patio de concreto.



8.4.6 Secado en bandejas



8.5 Tecnología mecanizada de extracción de almidón de yuca

8.5.1 Recepción de materia prima.



INDUSTRIALIZACIÓN DE LA YUCA

8.5.2 Prelimpieza de raíces.



8.5.3 Lavado y pelado de raíces.



8.5.4 Inspección de raíces.



INDUSTRIALIZACIÓN DE LA YUCA

8.5.5 Triturador.



8.5.6 Desintegrador.



8.5.7 Tamizadoras o extractoras.



INDUSTRIALIZACIÓN DE LA YUCA

8.5.8 Tanque pulmón o de bombeo.



8.5.9 Centrifuga primaria.



9 OBTENCION DE DEXTRINAS

9.1 Dextrinas.

Uno de los almidones modificados usado en la industria de los adhesivos son las dextrinas, las cuales son productos de degradación parcial del almidón generados por medio de temperatura y/o catalizadores, en un mecanismo de conversión que involucra procesos tales como ruptura hidrolítica, rearrreglo de moléculas y repolimerización. Los cambios más notables en el almidón son la reducción de la viscosidad y el aumento de la solubilidad en agua fría. Las dextrinas son utilizadas para la producción de adhesivos, particularmente en la industria de papel y cartón para el cerrado de cajas de cartón, formado de bolsas de papel multipliego, elaboración de tubos en espiral y etiquetado sobre vidrio.

9.2 Dextrinización

Las dextrinas son productos de degradación parcial del almidón obtenidas por calentamiento, con o sin catalizadores, en un mecanismo de conversión que involucra procesos de ruptura hidrolítica, reorganización de moléculas y repolimerización. El calor rompe parte de las uniones 1-4 del almidón e incrementa las uniones 1-6, con lo que se disminuye la longitud de las cadenas moleculares, al tiempo que se incrementa la ramificación. Esto determina una buena solubilidad en agua fría, menor tendencia a la retrogradación y mayor resistencia a las enzimas. Dada la forma corriente de obtención se denominan también pirodextrinas. La manufactura de dextrinas puede ser realizada por dos métodos:

9.3 Método seco

El almidón es calentado solo o en presencia de pequeñas cantidades de un catalizador. Hay tres clases de pirodextrinas industriales y cada una tiene características propias de color, poder viscosante y solubilidad en agua fría, a saber:

- Dextrinas blancas. Se preparan calentando almidón con una cantidad relativamente grande de catalizador ácido, a pH bajo, baja temperatura entre 80-120 °C y tiempos de tostación relativamente cortos de 3-8 horas. Son de color blanco similar al almidón, su solubilidad en agua es limitada y tiende a retrogradar en grados variables.
- Dextrinas amarillas o canarias. Se obtienen por tratamiento del almidón con trazas de ácido, a pH bajo y alta temperatura entre 150-220 °C, por largo tiempo de tostación de 6-18 horas. Presentan un distintivo color amarillo y tienen alta solubilidad en agua.
- Gomas británicas. Se forman cuando el almidón solo se calienta a temperatura de 180-220 °C, a alto pH y por un tiempo largo de proceso de 10-20 horas. Son de color marrón oscuro, tienen gran variación en solubilidad y poder viscosante. Tienen aroma de caramelo.

INDUSTRIALIZACIÓN DE LA YUCA

Las dextrinas tienen una amplia gama de aplicaciones a nivel industrial. Una de las más difundidas es como adhesivo para la elaboración de tubos en espiral, formado de sacos multipliego y bolsas de papel, cierre de cajas de cartón y pegado de etiquetas sobre vidrio; debido a sus características tales como viscosidad estable, alto porcentaje de sólidos y excelentes propiedades de rehumedecimiento. Además son usadas como aglutinantes, diluyentes para colorantes y aromas (Kennedy y Fischer, 1984).

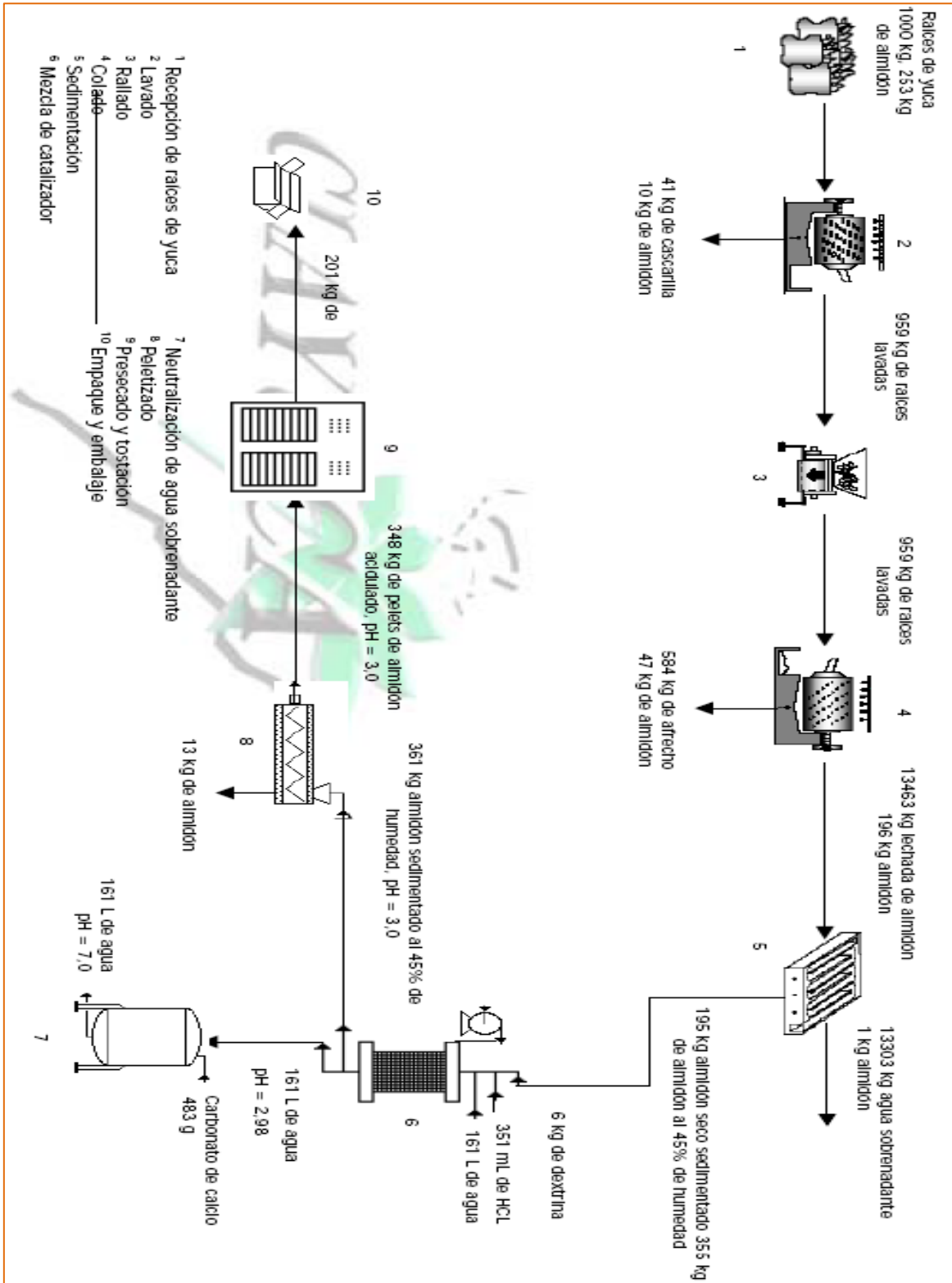
9.4 Método húmedo.

El almidón se dispersa en agua y es calentado en presencia de un catalizador o tratado con enzimas. Cuando se usa un catalizador ácido las dextrinas son producidas por simple calentamiento de suspensiones acuosas de almidón con ácido. Son usadas para textiles o adhesivos; sin embargo, poseen cierta cantidad de dextrosa y su presencia en cantidades excesivas causa rompimiento de la película adhesiva con la consecuente disminución de su fuerza. La conversión con enzimas se lleva a cabo por tratamiento de una pasta de almidón, con enzimas hidrolíticas. Según el tipo de enzima pueden ser:

- Maltodextrinas. Se obtienen por tratamiento del almidón con α -amilasa. El jarabe resultante es filtrado y refinado con carbón activado antes del secado por aspersión. Su equivalente de dextrosa (DE) varía entre 3-20. Se utilizan en alimentos como encapsulantes de sabor, aromas y color, espesantes y estabilizantes de emulsiones y espumas y en formulaciones de alimentos infantiles y dietéticos.
- Ciclodextrinas. También llamadas dextrinas de Schardinger. Se producen por tratamiento del almidón con la amilasa de *Bacillus macerans*; esta enzima tiene la propiedad de transformar las cadenas lineales del almidón en moléculas cíclicas. Su acción es compleja y parece catalizar al menos tres reacciones que implican los fenómenos de ciclización, de acoplamiento y de hidrólisis. Entre sus principales aplicaciones se pueden citar la estabilización de sustancias volátiles, emulsiones y compuestos aromáticos, la formación de complejos de inclusión mejorando la estabilidad de la molécula en diferentes ambientes y aumentando su solubilidad.

Su principal potencial se encuentra en el sector farmacéutico por su aumento en la solubilidad y la absorción de los complejos formados lo cual reduce la cantidad de medicamento y logra un mejor efecto terapéutico en el organismo. Otros de sus usos son la eliminación del colesterol de la materia grasa de la leche, como transportador de aromas y sabores, actúan como agentes encapsulantes, para el tratamiento de aguas residuales y pueden aumentar la germinación de semillas de cereales. Tienen como potencial como biocatalizadores de reacciones ácido básicas con funcionalidades similares a algunas enzimas (Vian, 1994).

9.5 Línea de proceso de la producción de dextrinas a partir del almidón nativo de una rallandería del departamento del cauca



10 LA YUCA Y LA BIOTECNOLOGIA

La yuca es, probablemente, la especie vegetal más eficiente del trópico en la producción, por unidad de área, de carbohidratos para las necesidades del pequeño agricultor. Su alta productividad la convierte en una fuente atractiva de materia prima renovable para la industria; sin embargo, su cultivo presenta algunos problemas de producción que pueden reducir notablemente su rendimiento, restarle interés y hacerlo menos rentable en el competitivo mercado de los carbohidratos de origen vegetal.

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) ha investigado el potencial de la biotecnología aplicada a la yuca, para entenderlo mejor y orientarlo a la solución de los problemas de este cultivo que escapan a la acción de los métodos convencionales de mejoramiento. Tres grandes áreas se han estudiado en el CIAT:

- **Cultivo de tejidos** para la limpieza y multiplicación rápida de material sano (certificado) y para la conservación de germoplasma.
- **Transformación genética** para introducir características agronómicas de interés que no existen naturalmente en la yuca. Por ejemplo, la resistencia a las enfermedades y mejoramiento de la calidad del almidón.
- **Marcadores moleculares**, usados para ser más eficientes el mejoramiento de la yuca y para entender la estructura de su diversidad genética.

10.1 Raíces sin cianógenos y con carotenos

Una forma novedosa de mejorar las raíces de yuca es la producción de **almidones cerosos**. Ósea, que contengan 100% de amilopectina, mediante a inactivación de la enzima GBSS II (la sintetasa del almidón, unida a los granos del almidón); para hacerlo, se inserta el gen de la GBSS II en antisentido (Raemakers et., 2001).

Las aplicaciones industriales de los almidones cerosos como la producción de espesantes, pastas y pegantes, es un mercado con gran potencial de crecimiento. Un proyecto de transformación genética se ha iniciado en el CIAT, con el apoyo financiero del MADR, para introducir genes en la yuca que le permitan a esta especie producir almidon ceroso.

11 REFERENCIAS

- (1) http://www.sica.gov.ec/agronegocios/Biblioteca/Ing%20Rizzo/perfiles_productos/YUCA.pdf
- (2) http://www.clayuca.org/nuest_hist.htm
- (3) http://www.mercanet.cnp.go.cr/Desarrollo_Agroid/documentospdf/Yuca_FT_P.pdf
- (4) <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1028s/a1028s01.pdf>
- (5) http://www.clayuca.org/clayucanet/edicion09/hojas_yuca.pdf
- (6) http://resultados.redciencia.cu/historia/periodo_1.php
- (7) <http://www.ciat.cgiar.org/yuca/descripcion.htm>
- (8) <http://www.ciat.cgiar.org/yuca/mecanizacion.htm>
- (9) http://www.ciat.cgiar.org/yuca/africa_asia.htm
- (10) http://www.clayuca.org/PDF/libro_yuca/capitulo26.pdf
- (11) <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd17/7/torr17074.htm>
- (12) <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd17/7/torr17074.htm>
- (13) <http://www.sian.info.ve/porcinos/eventos/clayuca0102/jhoana.htm>