

Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca

BOLETÍN
DE SERVICIOS
AGRÍCOLAS
DE LA FAO

163



Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca

BOLETÍN
DE SERVICIOS
AGRÍCOLAS
DE LA FAO

163

por

Johanna Aristizábal

Teresa Sánchez

Autoras

y

Danilo Mejía Lorío

Coordinador técnico

Servicio de Tecnologías de Ingeniería Agrícola y Alimentaria

Las opiniones expresadas en esta publicación son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

La mención u omisión de compañías, sus productos o nombres comerciales específicos no implica, de parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, aprobación o juicio alguno.

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

ISBN 978-92-5-305677-4

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y difusión de material contenido en este producto informativo para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor, siempre que se especifique claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción del material contenido en este producto informativo para reventa u otros fines comerciales sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor. Las peticiones para obtener tal autorización deberán dirigirse al Jefe de la Subdirección de Políticas y Apoyo en Materia de Publicación Electrónica de la Dirección de Comunicación de la FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Roma, Italia, o por correo electrónico a copyright@fao.org

© FAO 2007

Índice

Prefacio	ix
Agradecimientos	x
Siglas	xi
Símbolos	xii
1. La yuca	1
Variedades de yuca	1
Métodos de producción de yuca en pequeña, mediana y gran escala	3
2. Mercado y comercialización de la yuca	13
Producción, superficie y rendimiento mundial de la yuca	14
Consumo mundial	17
3. Productos alimenticios	19
Ejemplos de alimentos tradicionales	19
Panes y tortas	20
Toxicidad y liberación de ácido cianhídrico de la yuca	22
4. Deterioro poscosecha y conservación de las raíces de yuca	27
Deterioro fisiológico y microbiano	27
Factores que inciden en el deterioro poscosecha de yuca	28
Técnicas de curado y conservación de yuca	29
5. Características del almidón de yuca	33
Componentes del almidón	33
Propiedades físicoquímicas del almidón	35
Propiedades funcionales del almidón	36
6. Almidones modificados	41
Usos del almidón en productos alimentarios y no alimentarios	44
7. Extracción del almidón de yuca	49
Manufactura de almidón a escala artesanal	50
Manufactura de almidón a mediana escala: semimecanizada	51
Tecnología mecanizada de extracción de almidón de yuca	54
Uso y tratamiento de los residuos del proceso de extracción de almidón	57
8. Análisis físicoquímico del almidón	61
Distribución del tamaño del gránulo	61
Contenido de materia seca	62
Pulpa	63
Determinación del color	64
Densidad aparente	65

Viscosidad Brookfield	66
Viscosidad alcalina	67
Consistencia de la pasta	68
Viscoamilograma Brabender	70
Temperatura de gelatinización	72
Índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento	73
Claridad de la pasta	75
Fosfolípidos	76
Contenido de almidón	78
Contenido de amilosa/amilopectina	80
Nitrógeno total	82
Azúcares reductores	84
Valor reductor alcalino	87
Acidez titulable y pH	89
Contenido de cenizas	91
9. Análisis microbiológico	93
Conteo total	93
Conteo de <i>Escherichia coli</i>	95
Conteo de hongos y levaduras	97
10. Otros análisis	99
Contenido de ácido cianhídrico en yuca - método cualitativo	99
Contenido de ácido cianhídrico en yuca - método cuantitativo	101
Volumen específico	103
Estimación del contenido de materia seca y de almidón en yuca. Método de gravedad específica	105
Deterioro fisiológico en raíces de yuca	107
11. Factores de calidad de la yuca y requerimientos del almidón de yuca	109
Requerimientos de calidad de la yuca según su uso final	109
Factores que inciden en la calidad de la yuca	111
Relación entre la calidad de la yuca y sus parámetros físicoquímicos	112
Requerimientos físicoquímicos y microbiológicos del almidón de yuca	113
12. Otras fuentes de almidón	115
Maíz	118
Trigo	120
Arroz	121
Papa	123
Batata	125
Arrurruz	127
Sago	127
Bibliografía	129

Lista de cuadros

1. Cifras seleccionadas de producción, área y rendimiento estimadas para el año 2005	15
2. Propiedades de los componentes del almidón	35
3. Características de los gránulos de almidón	36
4. Cantidades para preparación de muestras	77
5. Cantidades para preparación de la curva estándar	80
6. Contenido de HCN según la escala de colores del método cualitativo	100
7. Requisitos de calidad de raíces de yuca según su uso	110
8. Requisitos físicoquímicos del almidón de yuca	113
9. Requisitos microbiológicos del almidón de yuca	113
10. Valor total de productos alimenticios seleccionados para países en desarrollo en 1993 y 2020	116
11. Comparación cualitativa de parámetros de almidones	117
12. Datos seleccionados de producción, área y rendimiento de maíz estimados para el año 2005	119
13. Datos seleccionados de producción, área sembrada y rendimiento de trigo estimados para el año 2005	121
14. Datos seleccionados de producción, área y rendimiento de arroz estimados para el año 2005	122
15. Datos seleccionados de producción, área sembrada y rendimiento de papa estimados para el año 2005	124
16. Datos seleccionados de producción, área y rendimiento de batata estimados para el año 2005	126

Lista de figuras

1.	Producción mundial promedio de yuca en los períodos 1983-85, 1993-95 y prevista para 2005	14
2.	Rendimiento mundial promedio de yuca en los períodos 1983-85, 1993-95 y prevista para 2005	14
3.	Superficie mundial promedio de yuca en los períodos 1983-85, 1993-95 y prevista para 2005	14
4.	Usos principales de la producción mundial de yuca en los períodos 1983-85, 1993-95 y prevista para 2005	15
5.	Principales países exportadores de yuca (2001)	16
6.	Principales países importadores de yuca	16
7.	Esquema de la amilosa	33
8.	Esquema de la amilopectina	34
9.	Representación esquemática de los cambios de los gránulos de almidón durante el procesamiento hidrotérmico	37
10.	Perfil de viscosidades de diferentes almidones	39
11.	Modificaciones química y bioquímica del almidón	41
12.	Diagrama de flujo para la obtención de almidón de yuca	49
13.	Carta de colores para determinación cualitativa de HCN usando solución de picatro-alcálico	100
14.	Carta de colores para determinación de cianuro usando el «kit» de análisis de HCN	102
15.	Crecimiento proyectado para los principales cultivos alimenticios, 1993-2020	115

Lista de láminas

1.	Labranza vertical y labranza convencional	4
2.	Preparación de caballones con bueyes (a) y caballoneador mecánico (b)	4
3.	Tratamiento de semilla (a) y almacenamiento de tallos (b)	5
4.	Brotos de retoños en agua para enraizar	6
5.	Siembra manual (a) y siembra mecanizada (b)	6
6.	Control de malezas con machete (a) y palín (b)	7
7.	Aplicación de herbicida con bomba de espalda (a) y bomba acoplada a tractor (b)	8
8.	Aplicación de plaguicida	9
9.	Cosecha de yuca con la mano (a) y con arrancador (b)	11
10.	Cosecha mecanizada de yuca usando cosechador flexible	11
11.	Cosechador rígido (a) y cosechador flexible (b)	12
12.	Deterioro fisiológico en raíces de yuca	27
13.	Deterioro microbiano en raíces de yuca	28
14.	Lavado de la yuca con los pies	50
15.	Pelado manual de raíces de yuca	50
16.	Rallado manual	51
17.	Colado de pulpa o material fibroso	51
18.	Secado sobre techos en tejas de zinc	51
19.	Secado sobre esteras	52
20.	Lavadora/peladora de raíces de yuca	52
21.	Rallador de raíces de yuca	52
22.	Coladora y tamiz vibratorio	52
23.	Tanques y canales de sedimentación	53
24.	Secado en patios de concreto	53
25.	Secado en bandejas	53
26.	Recepción de materia prima	54
27.	Prelimpieza de raíces	54
28.	Lavado y pelado de raíces	54
29.	Inspección de raíces	55
30.	Triturador	55
31.	Desintegrador	55
32.	Tamizadoras o extractoras	56
33.	Tanque pulmón o de bombeo	56
34.	Centrífuga primaria	56
35.	Centrífuga secundaria	57
36.	Filtro de vacío	57
37.	Canasta centrífuga	57
38.	Secador «flash» y silo de enfriamiento	58
39.	Silo de almacenamiento de fibras	58

40. Equipo de tamizado de tipo Ro-tap	61
41. Viscosímetro Brookfield	66
42. Viscosímetro Engler	67
43. Viscosímetro Scott	68
44. Viscógrafo Brabender	70
45. Espectrofotómetro	84
46. «Kits» para determinación de cianuro semicuantitativo y cuantitativo	101
47. Análisis cuantitativo de HCN utilizando el «kit» de análisis de HCN	102
48. Equipo para determinación de volumen específico	103
49. Peso de las raíces frescas	105
50. Peso de raíces frescas de yuca en el aire de yuca en el agua	105
51. Secciones transversales de yuca ilustrando valores según escala de deterioro	107

Prefacio

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) ha sido desde hace mucho tiempo una valiosa fuente alimenticia, de empleos y de ingresos para muchas comunidades agrícolas de países en vías de desarrollo principalmente de África, Asia y América Latina. El cultivo de la yuca evoluciona no sólo en términos de las tecnologías requeridas para su producción sino también en las fases de posproducción; en este sentido, la FAO ha venido contribuyendo en forma sustancial con publicaciones técnicas.

En 1956 la FAO presenta la primera obra *Elaboración de la yuca y sus productos en las industrias rurales*. Posteriormente, en 1977 publica *Elaboración de la yuca*, la cual incluye aspectos básicos que tratan sobre el cultivo de la yuca y otros temas relacionados con su procesamiento tales como la harina y el almidón, los productos horneados, los productos para consumo animal, la elaboración del almidón, los diversos usos de la yuca, el control de calidad de los productos, el comercio e industrialización, entre otros. Este libro sigue siendo una obra de consulta valiosa para los usuarios de los países miembros, pero se considera oportuno presentar, después de casi cincuenta años de las primeras publicaciones, una versión que incluya tecnologías modernas y actualizadas.

El Servicio de Tecnologías de Ingeniería Agrícola y Alimentaria (AGST) de la FAO ha producido esta Guía a fin de que los gobiernos de los países miembros en los que la yuca se produce y representa un recurso valioso como alimento y como materia prima para la industrialización puedan promover tecnologías que les permitan producir y transformarla en condiciones más eficientes; estos productos de mayor calidad deberán ser cada vez más competitivos para un desarrollo agrícola e industrial sostenibles. Para preparar esta publicación se recurrió a un trabajo profesional de recopilación de las más recientes investigaciones e innovaciones técnicas validadas. Estas pueden ser utilizadas tanto por los productores de yuca como por quienes trabajan en el manejo industrial poscosecha de procesamiento y comercialización y de sus derivados como el almidón, a fin de satisfacer las necesidades del mercado y contribuir a la transferencia de tecnología.

En esta *Guía Técnica para Producción y Análisis de Almidón de la Yuca*, se han profundizado algunos aspectos tratados en las publicaciones anteriores con el objeto de resaltar la necesidad de mejorar las técnicas de producción y posproducción. Se revisan aspectos básicos aplicados a las variedades de yuca, los métodos de producción, el mercado, los usos y la comercialización; las técnicas de producción del almidón y sus propiedades, sus usos y modificaciones y finalmente se tratan los temas sobre la calidad y los análisis fisicoquímicos y microbiológicos que permiten establecer niveles de calidad para una mejor comercialización y seguridad del consumidor. Además se hace una comparación con otras fuentes de almidón.

Confiamos que esta nueva versión, producida por la Dirección de Infraestructura Rural y Agroindustrias (AGS), a través del Servicio de Tecnologías de Ingeniería Agrícola y Alimentaria de la FAO, sirva como una fuente de consulta valiosa para todas aquellas personas como agricultores, investigadores, procesadores y otros que trabajan en toda la cadena agrícola e industrial de la yuca que va desde el campo hasta el consumidor.



Geoffrey C. Mrema
Director

Dirección de Infraestructura Rural y Agroindustrias, AGS

Agradecimientos

Las autoras desean agradecer a la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y en particular al Servicio de Tecnologías de Ingeniería Agrícola y Alimentaria de la Dirección de Sistemas de Apoyo a la Agricultura por la oportunidad y el constante apoyo ofrecido para la preparación de esta Guía, en especial para el trabajo de búsqueda de información y preparación del texto del documento. El hecho de que el tema principal sea la yuca, un cultivo de gran importancia en la alimentación de más de 1 000 millones de personas en todo el mundo, nos permite contribuir a la búsqueda de soluciones de los problemas de la producción y seguridad alimentarias.

Deseamos reconocer el apoyo del Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT (Cali, Colombia) por haber proporcionado y permitir el uso de información, datos y material técnico de gran valor a fin poder presentar una obra coherente y a la vez de aplicación práctica para el trabajo de investigadores, ingenieros agrónomos y extensionistas que están en contacto directo con los campesinos, incluyendo nuevos avances sobre producción, procesamiento, conservación, comercialización y análisis de la yuca y del almidón de yuca.

Es necesario agradecer expresamente el apoyo brindado en todo momento por Danilo Mejía Lorío del Servicio de Tecnologías de Ingeniería Agrícola y Alimentaria de la FAO, quien proporcionó especialmente el liderazgo y la orientación técnica adecuada y un apoyo constante con comentarios y sugerencias fundamentales para el buen desarrollo del trabajo.

El coordinador técnico desea destacar que la realización de esta publicación ha sido posible gracias al apoyo y dedicación de numerosas personas a quienes deseamos hacer llegar nuestro más sincero reconocimiento.

En primer lugar deseamos agradecer a Johanna Aristizábal y Teresa Sánchez, autoras y entusiastas partícipes de este trabajo quienes con sus conocimientos y experiencia contribuyeron decisivamente a que esta publicación sea una realidad.

También debemos agradecer la revisión crítica del texto por parte de Roberto Cuevas García (AGST) y el apoyo recibido de Ed Seidler (AGSF), Andrew Shepherd (AGSF), Divine Njie (AGST) y del revisor externo Javier de la Cruz Medina del Instituto Tecnológico de Veracruz, México.

Del mismo modo se desea reconocer el apoyo permanente recibido de Shivaji Pandey, ex-Director de la Dirección de Servicios de Apoyo a la Agricultura, de Gavin Wall, Jefe del Servicio de Tecnologías de Ingeniería Agrícola y Alimentaria y de François Mazaud, Oficial Superior de este Servicio.

Por último, pero igualmente importante, se agradece la edición técnica por parte de Cadmo Rosell, la preparación y formatación del texto por Lynette Chalk y la asistencia administrativa de Ann Drummond, Donna Kilcawley y Claudia Bastar.

Siglas

AOAC	<i>(Association of Official Analytical Chemists- U.S.A)</i> Asociación de Analistas Químicos Oficiales -EE.UU.A.
CETEC	Corporación para Estudios Interdisciplinarios y Asesorías Técnicas (Colombia)
CCI	Corporación Colombia Internacional
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical (Colombia)
CIP	Centro Internacional de la Papa (Perú)
CIRAD	Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo (Francia)
CLAYUCA	Consortio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (Colombia)
CORPOTUNÍA	Corporación para el Desarrollo de Tunía (Colombia)
FAOSTAT	Base de datos estadísticos de la FAO
FDA	<i>(Food and Drug Administration –U.S.A.)</i> Administración Federal de Drogas y Alimentos – EE.UU.A.
FIDA	Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola
ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación
IDRC	Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo
IFPRI	Instituto de Investigación en Políticas Alimentarias
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
IIT	Instituto de Investigaciones Tecnológicas
IITA	Instituto Internacional de Agricultura Tropical (Nigeria)
IMPACT	Modelo Internacional para el Análisis de Políticas de Productos Alimenticios y Comercio
IPGRI	Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos
ISI	<i>(International Starch Institute)</i> Instituto Internacional del Almidón
ISO	<i>(International Standards Organization)</i> Organización Internacional de Estandarización
MIP	Manejo Integrado de Plagas
NTC	Norma Técnica Colombiana
OMS	Organización Mundial de la Salud
PAC	Política Agrícola Común
PDAR-CIAT	Proyecto de Desarrollo Agroempresarial Rural-CIAT
PMY-CIAT	Proyecto de Mejoramiento de Yuca- CIAT
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
SW	Sur Oeste
TAC	Comité Técnico Consultivo <i>(Technical Advisory Committee)</i>
UE	Unión Europea
UNIVALLE	Universidad del Valle (Colombia)

Símbolos

±	más o menos
Σ	sumatoria
α-D-(1→4)	enlace alfa 1-4
α-D-(1→6)	enlace alfa 1-6
<	menor que
>	mayor que
Bé	Grados Baumé
C	Grados Centígrados
ABTS	Acido 2-2' Azinobis (3 etil bencetiazoline 6 sulfónico)
AL	Almidón
bh	Base húmeda (o fresca)
bs	Base seca
C ₄ H ₇ NO	Cianhidrina
C ₆ H ₃ N ₃ O ₇	Ácido pícrico
C ₆ H ₆ O	Acetona
C ₆ H ₁₂ O ₆	Glucosa
C ₁₀ H ₁₇ O ₆	Linamarina
cm	Centímetros
CO ₂	Anhídrido carbónico
cP	Centipoises
DE	Equivalente de dextrosa
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DS	Grado de sustitución
EMB	Eosina azul de metileno
Fd	Factor de dilución
g	Gramos
GE	Gravedad Específica
GOD	Glucosa Oxidasa
h	Horas
ha	Hectáreas
HCl	Ácido clorhídrico
HCN	Ácido cianhídrico
HNO ₃	Ácido nítrico
IIA	Índice de Absorción de Agua
ISA	Índice de Solubilidad en Agua
kg	Kilogramo
KI	Yoduro de potasio
L	Litros
LM	Absorbancia de la muestra
LSt	Absorbancia del estándar utilizado
m	Metros
μ	micro

M	Molaridad
m ²	Metros cuadrados
m ³	Metros cúbicos
meq	Miliequivalentes
mg	Miligramos
min	Minutos
mL	Militros
mm	Milímetros
MS	Materia seca
msnm	Metros sobre el nivel del mar
N	Normalidad
Na ₂ CO ₃	Carbonato de sodio
NaOH	Hidróxido de sodio
nm	Nanómetros
N HCl	Normalidad de ácido clorhídrico
NMP	Número Más Probable
OGY	Oxitetraciclina glucosa extracto de levadura
P	Peso de muestra
p/p	Relación peso a peso
p/v	Relación peso a volumen
PFRAG	Peso fresco de raíces en el agua
PFRAI	Peso fresco de raíces en el aire
PH	Poder de hinchamiento
pH	Potencial hidrógeno
PO ₄ ⁻³	Ion fosfato
POD	Peroxidasa
ppm	Partes por millón (mg/kg)
PVC	Cloruro de polivinilo
RPM	Revoluciones por minuto
St _g	Cantidad de glucosa que contiene el estándar utilizado
St _p	Cantidad de fósforo que contiene el estándar utilizado
t	Toneladas métricas
UB	Unidades Brabender
UFC	Unidades Formadoras de Colonias
v/v	Relación volumen a volumen
Va	Volumen de la alícuota
Vd	Volumen después del tratamiento de la muestra
VRBA	Violeta cristal rojo neutro bilis

Capítulo 1

La yuca

La yuca -*Manihot esculenta* Crantz- pertenece a la familia *Euphorbiaceae*. Esta familia está constituida por unas 7 200 especies que se caracterizan por el desarrollo de vasos laticíferos compuestos por células secretoras o galactocitos que producen una secreción lechosa. Su centro de origen genético se encuentra en la Cuenca Amazónica. Dentro de esta familia se encuentran tipos arbóreos como el caucho, *Hevea brasiliensis*; arbustos como el ricino o higuera, *Ricinus communis* y numerosas plantas ornamentales, medicinales y malezas además del género *Manihot*.

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. Su reproducción alógama y su constitución genética altamente heterocigótica constituyen la principal razón para propagarla por estacas y no por semilla sexual (Ceballos y De la Cruz, 2002).

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.

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 temperaturas comprendidas entre 20 y 30 °C con una óptima de 24 °C, una humedad relativa entre 50 y 90 por ciento con una óptima de 72 por ciento y una precipitación anual entre 600 y 3 000 mm con una óptima de 1 500 mm.

Su ciclo de crecimiento desde la siembra a la cosecha, depende de las condiciones ambientales: es más corto, de 7 a 12 meses, en áreas más cálidas y es más largo, 12 meses o más, en regiones con alturas de 1 300 a 1 800 msnm. Su producción se desarrolla en varias etapas a saber:

- enraizamiento de las estacas en el primer mes;
- tuberización, entre el primer y segundo mes o hasta el tercero, dependiendo del cultivar;
- engrosamiento radical, entre el tercero y cuarto mes o hasta el sexto, dependiendo del cultivar, y
- acumulación, entre el quinto y sexto mes hasta el final del ciclo del cultivo.

VARIETADES DE YUCA

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) conserva en el banco de germoplasma *in vitro* que constituye la mayor colección de yuca del mundo, 6 073 clones discriminados en 5 724 clones de *Manihot esculenta*, que incluyen cultivares primitivos, cultivares mejorados y material genético y 349 accesiones correspondientes

a 33 especies silvestres. La conservación en el banco de germoplasma se basa en dos sistemas: en el campo e *in vitro*. Estas dos modalidades de conservación *ex situ* mantienen exitosamente las combinaciones de genes, sin cambios comprobados en la estabilidad genética de los clones.

Según Debouck y Guevara (1995) la colección de germoplasma de yuca del CIAT está constituida en un 96 por ciento por accesiones procedentes de América Latina que es el centro primario de diversidad. Se han introducido aproximadamente 800 accesiones de Brasil. Se estima que 87 por ciento de los clones de la colección son cultivares primitivos y el resto son cultivares avanzados, híbridos y material genético. De los 61 países donde *Manihot esculenta* es importante, 24 de ellos han contribuido a la colección. Algunos de estos países con áreas de alta prioridad para la adquisición de germoplasma son: en la región de Mesoamérica, El Salvador, Honduras y Nicaragua; en la región del Amazonas, la zona central y occidental de Brasil; la región del Chaco de Bolivia y Paraguay; Venezuela y la parte oriental de Colombia, Guyana y Suriname y la región montañosa de Ecuador. En la región caribe se encuentra en República Dominicana y Haití. Importantes genotipos élite fueron introducidos del continente asiático de China, Filipinas, Tailandia y Viet Nam. Hay escasas accesiones procedentes del continente africano.

El CIAT asigna un código único específico y permanente a las variedades colectadas; en caso que el clon desaparezca, su código nunca será asignado a otro clon. En la nomenclatura para los clones de yuca también son importantes los nombres vulgares, regionales o comunes. Usualmente, los agricultores designan las variedades con nombres muy sencillos que guardan relación con alguna característica de la planta o con su procedencia. Por ejemplo: *algodonas*, variedades de fácil cocción; *rojitas*, variedades de pecíolos rojos; *llaneras*, variedades procedentes de los Llanos; *negritas*, variedades de tallo o cogollo oscuro. El uso del nombre vulgar tiene limitaciones y se presta para confusiones ya que un mismo nombre vulgar puede atribuirse a genotipos diferentes o contrastantes. Otra nomenclatura corresponde a los materiales liberados; es común que las instituciones de fitomejoramiento liberen materiales de yuca con nombres comunes que guardan relación con detalles particulares del clon o del sitio de liberación, como por ejemplo: venezolana, panameña, brasileña, americana (Jaramillo, 2002).

La presencia de glucósidos cianogénicos tanto en raíces como en hojas es un factor determinante en el uso final de la yuca. Muchas variedades llamadas *dulces* tienen niveles bajos de estos glucósidos y pueden ser consumidas de manera segura luego de los procesos normales de cocción. Otras variedades llamadas *amargas* tienen niveles tan elevados de glucósidos que necesitan un proceso adecuado para que puedan ser aptas para el consumo humano; por ello estas variedades son generalmente utilizadas para procesos industriales. Contrariamente a lo que se cree, no existe una relación definida entre el sabor amargo o dulce y el contenido de glucósidos cianogénicos.

La diferenciación entre variedades amargas y dulces no siempre es precisa, ya que el contenido de glucósidos cianogénicos no es constante dentro de una variedad y depende también de las condiciones edafoclimáticas del cultivo. Por lo tanto, una variedad de yuca puede ser clasificada como amarga en una localidad y como dulce en otra. Aparentemente, en los suelos fértiles se incrementa el sabor amargo y la concentración de glucósidos cianogénicos. Las yucas amargas son más comunes en el área amazónica y en el Caribe, mientras que las dulces se encuentran con mayor frecuencia en el norte de América del Sur.

Dependiendo del uso final de la yuca, esta puede ser clasificada como de calidad *culinaria* cuando se destina al consumo humano directo; como *industrial* cuando se usa para la producción de subproductos tales como harina, almidón, trozos secos o como de *doble propósito*, es decir, fenotipos que podrían ser usados tanto para el consumo humano como industrial. Esta variabilidad da lugar a que el agricultor venda para el mercado en fresco si los precios son altos o, en caso contrario que venda las

raíces para procesos industriales, por lo general a un precio considerablemente menor. Esta estrategia ha interferido con el uso industrial de la yuca porque no permite un suministro constante y confiable de la materia prima. Actualmente, los programas de mejoramiento genético están dirigidos a la búsqueda de variedades específicas para la industria, ya que las variedades de doble propósito resultaban, en algunos casos inadecuadas para consumo en fresco o para la industria (Ceballos, 2002).

MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE YUCA EN PEQUEÑA, MEDIANA Y GRAN ESCALA

Existen diferentes métodos de producción de yuca, desde los pequeños agricultores cuyas labores son realizadas manualmente, hasta productores en gran escala con extensas plantaciones del cultivo y labores mecanizadas desde la siembra hasta la cosecha. El cultivo de yuca demanda una cantidad apreciable de mano de obra, especialmente en la siembra y la cosecha. En países como Brasil y Tailandia se ha avanzado en el desarrollo de sistemas mecanizados de siembra y cosecha y se ha reducido apreciablemente el costo de producción.

Los avances logrados en los últimos años en el desarrollo de variedades de yuca con alto potencial de rendimiento ayudan a mejorar la productividad del cultivo y le permiten competir en diferentes mercados y condiciones de producción, tanto dentro de esquemas de agricultura de conservación como en la agricultura mecanizada y en grandes extensiones. La mecanización agrícola pretende ofrecer mejores condiciones para el desarrollo del cultivo contribuyendo a reducir la mano de obra requerida, otros costos de producción, el tiempo que insume cada labor por unidad de área y el costo final de producción. En consecuencia, un productor de yuca puede aumentar el área sembrada y justificar la inversión inicial en maquinaria agrícola, generando además un valor agregado a este cultivo por medio de su industrialización.

Preparación del suelo

La yuca, como cualquier otro cultivo, requiere una buena preparación del suelo que varía según el clima, el tipo de suelo y sus características físicas, biológicas y de vegetación, la topografía, el grado de mecanización y otras prácticas agronómicas. Es importante conocer la historia de uso del lote para mantener la sostenibilidad del suelo, verificar que no tenga zonas de encharcamiento y si fuera necesario realizar obras de drenaje y manejo de aguas.

Una preparación adecuada del suelo garantiza una cama propicia para la semilla¹ y, en consecuencia, altos niveles de brotación y de producción. La preparación del suelo comienza, generalmente, en la época seca; en regiones de clima muy húmedo se procede al contrario, preparando la tierra hacia el final de las lluvias intensas y sembrando las estacas al comienzo de la época seca; de esta manera se aprovechan las lluvias poco copiosas para el desarrollo inicial de las raíces. En zonas de menor precipitación pluvial es necesario, a veces, arar antes del período seco para aprovechar algo de humedad, ya que más tarde el terreno se secará y endurecerá demasiado para la labranza (Ospina *et al.*, 2002).

Puede ser utilizada labranza convencional, con arados de disco y rastras pesadas o labranza vertical, utilizando el arado de cincel rígido o vibratorio (Lámina 1). Este último contribuye a solucionar los problemas de compactación y sellado que muchas veces ocasiona la labranza convencional. El terreno se debe preparar por lo menos a 25-40 cm de profundidad para obtener un suelo disgregado y libre de terrones que facilite el crecimiento horizontal y vertical de las raíces.

¹ En esta publicación el término «semilla» se utiliza para el material reproductivo asexual conocido comúnmente como estacas o cangres.



CLAYUCA

Lámina 1

Labranza vertical y labranza convencional
 a) Labranza vertical con cincel vibratorio
 b) Labranza vertical con cincel rígido
 c) Labranza convencional con rastra
 d) Labranza convencional con arado de disco



PMY-CIAT



CLAYUCA

Lámina 2

Preparación de caballones con bueyes (a) y
 caballoneador mecánico (b)

Dependiendo del tipo de suelo y las condiciones de drenaje interno y superficial se deben realizar caballones entre 30-40 cm de altura; estos pueden realizarse a pequeña escala con el uso de bueyes y a gran escala con caballoneadores mecánicos (Lámina 2) como sigue:

- *en suelos de textura arcillosa* donde caen más de 1 200 mm de precipitación pluvial, se deben hacer caballones para facilitar el drenaje y mejorar el establecimiento del cultivo y las labores de cosecha manual.
- *en suelos más pesados y compactos*, se deben hacer caballones porque estos suelos se saturan de agua y en la época de lluvia en razón de la mala aireación propician la pudrición de las raíces causando pérdidas al cultivo.
- *en suelos de textura arenosa*, que predominan en los climas secos del trópico la yuca puede ser plantada en tierras llanas, exceptuando lotes que se encharcan por mal drenaje, en los que se deben realizar caballones.
- *en los terrenos en declive* no es recomendable plantar yuca cuando las pendientes superan el 15 por ciento; en caso de hacerlo deben hacerse surcos en contorno para prevenir la erosión y aplicar otras prácticas de manejo del suelo (Cadavid, 2005).

Selección y manejo del material de siembra

Entre los factores más importantes de la producción de yuca responsables del buen establecimiento, de su sanidad y de su nutrición inicial se encuentran la variedad y la calidad del material de siembra. En la selección del material de siembra se deben tener en cuenta el potencial de rendimiento, la estabilidad, el tipo de planta, el número de ramificaciones, la resistencia a plagas y enfermedades y la calidad fisiológica. La calidad de la semilla de yuca depende de la madurez y el grosor del tallo, del número de nudos, del tamaño del cangre o estaca, la variedad, los daños mecánicos que presente a causa de su manipulación y su sanidad, o sea libre de patógenos.

Las partes más apropiadas para seleccionar las ramas de las cuales se obtendrán las estacas, son la basal y la media ya que en ellas hay mayor acumulación de sustancias de reserva y presentan una mejor madurez fisiológica. Para seleccionar la semilla, se acostumbra realizar una prueba de viabilidad que consiste en efectuar un corte superficial en la corteza del tallo y comprobar si de este fluye inmediatamente látex; en caso positivo significa que la rama tiene humedad

y capacidad de brotación, de lo contrario, si el látex no sale o demora en salir el material debe ser descartado porque no es viable. Finalmente, a las ramas seleccionadas se les elimina la punta de la base, el tercio superior y las partes secas con un corte con machetes afilados y limpios. Las estacas se cortan y luego se realizan atados compactos de aproximadamente 25 unidades para facilitar su transporte y conservar la integridad de las ramas.

Las varas se deben conservar en un lugar fresco, evitando la exposición directa a los rayos solares. Es preferible almacenar las ramas en posición vertical ya que ocurre una menor pérdida del material de siembra (Lámina 3). Se pueden conservar de esta manera hasta por cuatro meses pero el período óptimo es un mes. Como medida preventiva las ramas se deben tratar con una mezcla de insecticida-fungicida, sumergirlas por un tiempo de 5-10 minutos, para protegerlas contra enfermedades, organismos patógenos, insectos y ácaros; una de las formulaciones utilizadas es a base de compuestos con principios activos como benomil 3g/L de agua, captan 2-3 g/L de agua, dimetoato 3 mL/L de agua y dos por ciento de sulfato de zinc (López, 2002).

Debido a que la tasa de multiplicación es baja la planta de yuca no permite suministrar en corto tiempo abundante cantidad de estacas; un método para garantizar el uso de semilla sana es utilizar plantas obtenidas por propagación rápida, la cual se puede realizar mediante dos sistemas:

- el *método de inducción de retoños*, que consiste en la inducción de brotes y su posterior enraizamiento, a partir de estacas de dos nudos; en promedio cada estaca de dos yemas llega a producir alrededor de ocho retoños en un año, cortando cada 20 días, por lo cual de una planta adulta de ramificación tardía se pueden obtener en un año hasta 800 retoños (Lámina 4).
- el *método de multiplicación por esquejes de una hoja y una yema*, consiste en inducir el enraizamiento de una yema con su correspondiente hoja; aunque requiere más equipo que el sistema de retoños su potencial de propagación es mucho mayor, ya que en un año y medio es posible producir alrededor de 60 000 estacas a partir de una sola planta madre (López, 2002).

Siembra

La siembra de yuca puede ser realizada de forma manual o mecanizada. Las variables más importantes a tener en cuenta en la siembra son:

- *la profundidad de siembra* que debe ser entre 5-8 cm
- *la longitud de la estaca*: comúnmente se utilizan estacas entre 15-30 cm, con promedio de 20 cm y de 5-6 nudos por estaca



Lámina 3
Tratamiento de semilla (a) y almacenamiento de tallos (b)



CLAYUCA

Lámina 4
Brotes de retoños en agua para enraizar

- *la posición de la estaca:* se pueden plantar en posición vertical, horizontal o inclinada; estudios realizados por Cock y Howeler (1978) demostraron que la posición en que se planta la estaca no tiene un efecto significativo en el rendimiento; la posición vertical es la más utilizada y se recomienda porque favorece el crecimiento inicial y reduce el vuelco de las plantas; sin embargo, cuando la operación es mecanizada se recomienda plantarlas en posición horizontal ya que las raíces se separan y facilita la cosecha
- *la distancia entre plantas y caballones:* depende de la fertilidad del suelo, de la época de plantación, de la variedad, de la topografía, del clima; las distancias más comunes son 80 x 80 cm y 100 x 100 cm, que corresponden a densidades de siembra de 15 625 y 10 000 plantas por hectárea, respectivamente.

En la siembra manual, las estacas se colocan sobre el caballón o en plano y se entierran de 5-10 cm de los 20 cm que tiene la estaca. Se planta en el sentido del crecimiento de las yemas, procurando que un buen número de ellas quede bajo el suelo. En la siembra mecanizada se utilizan máquinas sembradoras de dos líneas que colocan el cangre a una profundidad estandarizada de 5-8 cm en posición horizontal. Las máquinas sembradoras disponen de mecanismos para ajustar la distancia entre plantas y caballones y se pueden utilizar en plano o en caballones (Lámina 5).

Con la siembra manual usualmente se requieren entre 6-8 jornales hectárea/día, mientras que con las máquinas sembradoras se requieren dos operarios alimentadores y el tractorista, y se siembran entre 5-7 hectáreas/día (Cadavid, 2005).

Control de malezas

Después de la siembra es necesario realizar el control de malezas para evitar el crecimiento de las gramíneas y de las malezas de hoja ancha ya que la competencia de las malezas por luz, agua y nutrimentos durante los primeros 60 días en los cultivos de yuca, causa una reducción en los rendimientos de aproximadamente el 50 por ciento. El control de malezas puede realizarse de forma manual, mecánica o química.

El *control manual* se utiliza en plantaciones pequeñas y consiste en deshierbes con implementos manuales (Lámina 6). Se emplean entre 10-15 jornales por hectárea/día dependiendo del estado de las malezas; es necesario realizar varios deshierbes hasta cuando el cultivo cierre completamente e impida el desarrollo de las malezas por la



PMY-CIAT

Lámina 5
Siembra manual (a) y siembra mecanizada (b)



reducción en la entrada de luz. Este método es utilizado en plantaciones pequeñas cuando existe mano de obra disponible y a bajo costo (Calle, 2002).

El *control mecánico* consiste en la utilización de herramientas como cultivadoras rotativas o ganchos tiradas por animales o tractores que pasan entre las hileras y los caballones; este tratamiento se inicia cuando el cultivo tiene entre 15-30 días y hasta que el cultivo lo permita.

El *control químico* se realiza mediante el uso de herbicidas preemergentes que evitan el crecimiento de malezas por un período de 45-50 días. Si es necesario se puede aplicar un herbicida posemergente para eliminar las malezas que escapan a la acción del preemergente; esta práctica puede acompañarse por medio de deshierbes manuales. Sin embargo, para la correcta elección del herbicida es necesario reconocer las malezas predominantes antes de la preparación del suelo y saber cuales malezas son controladas por los herbicidas disponibles. La aplicación de herbicidas puede hacerse con el uso de bombas de espalda (20 L) donde son necesarios dos jornales por hectárea/día o con bombas acopladas a tractores (600-1 000 L); además la aplicación debe realizarse con el suelo a capacidad de campo, es decir que tenga la humedad adecuada para que el herbicida penetre en el suelo y forme un sello sobre este (Lámina 7). La yuca es uno de los cultivos en los cuales es más necesaria la integración de los métodos de control de las malezas, dado que su lento crecimiento inicial permite el desarrollo vigoroso de estas.



PMK-CIAT



Lámina 6
Control de malezas con machete (a) y palín (b)

Fertilización

La fertilización se realiza para recuperar, sostener y aumentar la productividad de los suelos y para aumentar el rendimiento y la calidad del cultivo. La fertilización puede ser química u orgánica. Para realizar una adecuada fertilización es necesario realizar un diagnóstico del suelo; este incluye como principales análisis el análisis químico y el análisis físico, de tejido vegetal, del nivel crítico de nutrientes en el suelo, el conocimiento de desórdenes nutricionales y la respuesta del cultivo a la fertilización. En general, se requieren entre 4-5 jornales por ha/día para realizar esta labor.

La cantidad y el tipo de fertilizante a utilizar dependen del balance de los nutrientes disponibles que indique el análisis de suelo, los requerimientos del cultivo y de la eficiencia del fertilizante.

- Los *fertilizantes químicos*, en general se aplican un mes después de la siembra, y luego se repite la aplicación a los 60 días después de la siembra; en suelos arenosos y si se utilizan fertilizantes de alta solubilidad, el suelo debe tener buena disponibilidad de agua en el momento de la aplicación.



PMY-CIAT

Lámina 7

Aplicación de herbicida con bomba de espalda (a) y bomba acoplada a tractor (b)



- En el caso de los *fertilizantes orgánicos* como estiércoles, abonos verdes, coberturas superficiales, residuos de cosecha y en el caso de fertilizantes *de lenta solubilidad* en agua como rocas fosfóricas, escorias Thomas o cales se deben aplicar al voleo 20-30 días antes de la siembra e incorporar en la última labor de preparación del suelo. En el caso del encalado, usado para contrarrestar el efecto negativo del aluminio y como fuente de calcio no debe exceder 2 t/ha ya que produce efectos de inhibición sobre otros nutrientes del suelo como el potasio y el zinc (Cadavid, 2005).

Manejo integrado de plagas

El manejo integrado de plagas (MIP) en la yuca está relacionado fundamentalmente con el empleo de prácticas agronómicas, el control biológico, la resistencia de la planta hospedante y el uso de plaguicidas. Un programa exitoso de manejo integrado de plagas debe evitar el deterioro ambiental, la posible contaminación de los alimentos en el futuro y estar disponible a un bajo costo para los agricultores de países en desarrollo (Bellotti *et al.*, 2002).

Entre las principales plagas de la yuca se encuentran el gusano cachón (*Erynnis ello*), el ácaro verde-manchado (*Tetranychus urticae*), el ácaro verde (*Mononychellus tanajoa*), el ácaro rojo (*Tetranychus cinnabarinus*), el ácaro plano (*Olygonichus peruvianus*), la mosca blanca (*Aleurotrachelus socialis*), los piojos harinosos (*Phenacoccus herreni*, *P. grenadensis* y *P. manihoti*), los trips (*Frankliniella williamsi* y *Scirtothrips manihoti*), la chinche subterránea de la viruela (*Cyrtomenus bergi*), la chinche de encaje (*Vatiga manihotae* y *V. illudens*), barrenadores del tallo (*Chilomina clarkei*, *Lagochirus araneiformis* y *Coelosternus* spp.) y chisas (*Phyllophaga* spp. y *Leucopholis rorida*).

El hecho de mantener los insectos perjudiciales a niveles de baja importancia económica, significa que no siempre la presencia y el daño de un insecto incidirán en la reducción de la producción del cultivo; la planta de yuca tiene la capacidad para soportar cierto daño causado por los insectos y tiene habilidad para recuperarse. No se debe recurrir a la aplicación de insumos de control, sobre todo pesticidas, a menos que se haya hecho una estimación de la pérdida del rendimiento. Por ser la yuca un cultivo de ciclo largo, el uso continuo de pesticidas es costoso y antieconómico en relación con su rentabilidad; por ello, este cultivo es ideal para programas de control biológico especialmente en áreas donde se cultiva sin interrupción y en grandes extensiones.

Las *prácticas agronómicas* más usadas por los pequeños agricultores incluyen:

➤ *los cultivos intercalados o cultivos mixtos* que reducen la población de las plagas como la mosca blanca, el gusano cachón y la chinche subterránea de la viruela; además de reducir el daño que causan las plagas, evitan brotes de plagas en extensiones grandes de cultivo. Los agricultores podrían ser renuentes a utilizar cultivos intercalados si las especies usadas no son comercialmente aceptadas o si el rendimiento del cultivo de la yuca se reduce considerablemente. En las grandes plantaciones, donde la mecanización hace parte de las prácticas de producción, el cultivo intercalado podría no ser aceptado.

➤ *otras prácticas culturales* que pueden reducir la población de plagas son la mezcla de variedades, la destrucción de residuos de cosecha, la rotación de cultivos, la época de siembra y el uso de material de alta calidad.

➤ *el control biológico* permite el control de las plagas mediante la utilización deliberada y sistemática de sus enemigos naturales. La acción de parásitos, predadores y patógenos mantiene la densidad de población de otros organismos en un nivel más bajo que el que podrían tener en ausencia de ellos. Sus ventajas radican en que es relativamente permanente, es económico, mantiene en buen nivel la calidad del ambiente y permite consumir alimentos no contaminados por plaguicidas.

El Banco de Germoplasma del CIAT posee más de 6 000 variedades de yuca que tienen un grupo de genes de resistencia a plagas; un gran número de ellas son variedades silvestres. Por otro lado, las nuevas herramientas biotecnológicas disponibles permiten un eficiente y fácil acceso a genes resistentes y una más rápida manipulación de los niveles moleculares. El mapa genético molecular de la yuca podría ser una herramienta muy útil para desarrollar plantas transgénicas de yuca con resistencia a las plagas. Estos materiales están siendo continuamente plantados en campo y se hallan disponibles para hacer evaluaciones sistemáticas de resistencia a plagas.

En los agroecosistemas tradicionales de yuca el uso de plaguicidas es muy limitado, debido a su alto costo y al largo ciclo del cultivo que puede hacer necesarias varias aplicaciones; sin embargo, los pequeños agricultores usan fungicidas e insecticidas de bajo costo y también se ha incrementado su uso en grandes plantaciones (Lámina 8). Actualmente hay buenas posibilidades de reemplazar los plaguicidas químicos por bioplaguicidas para el control de plagas en yuca; un ejemplo de ello es el baculovirus contra el gusano cachón (Bellotti, 2000).

Manejo de enfermedades

La yuca es afectada por varias enfermedades fungosas y bacterianas que causan manchas foliares, necrosis del tallo o pudriciones radicales con consecuentes pérdidas en el rendimiento del cultivo.

Las enfermedades más frecuentes en la yuca son el superalargamiento (*Sphaceloma manihoticola*), la mancha parda de la hoja (*Cercosporidium henningsii*), la mancha blanca de la hoja (*Phaeoramularia manihotis*), la mancha de anillos circulares de la hoja (*Phoma* sp.), la mancha angular de la hoja (*Xanthomonas campestris* pv. *cassavae*), la antracnosis de la yuca (*Glomerella manihotis*), la ceniza de la yuca (*Oidium manihotis*),



CLAYUCA

Lámina 8
Aplicación de plaguicida

la roya de la yuca (*Uromyces* spp.), el añublo pardo fungoso (*Cercospora vicosae*), el añublo bacteriano (*Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis*), el necrosamiento del tallo (*Glomerella cingulata*), la pudrición seca del tallo y la raíz (*Diplodia manihotis*), la pudrición bacteriana del tallo (*Erwinia carotovora* pv. *carotovora*), la pudrición radical (*Phytophthora* sp., *Rosellinia* spp. y *Pythium* spp.), el mosaico común de la yuca (*Potexvirus*) y el cuero de sapo (fitoplasma, virus).

Dentro de los métodos de prevención y control utilizados en estas enfermedades se recomienda, de forma preventiva, usar material de siembra sano y resistente obtenido de plantaciones sanas provenientes de cultivos de meristemas y por enraizamiento de cogollos o de brotes, rotación del cultivo con gramíneas como maíz o sorgo, sembrar en suelos sueltos, controlar las malezas, fertilizar adecuadamente; mejorar el drenaje del suelo y sembrar al final de períodos lluviosos. Como medidas de control se recomienda reducir el exceso de humedad en la plantación, el uso de fungicidas específicos para una enfermedad, erradicación de plantas enfermas, evitar el movimiento de personas, máquinas y animales de lotes afectados a lotes sanos y eliminación del material afectado después de la cosecha, esto es, quemar ramas y tallos y residuos de cosecha (Álvarez y Llano, 2002).

Cosecha

La labor de cosecha constituye la etapa final del cultivo cuya época es definida por el agricultor en función de su productividad, del contenido de materia seca y de la calidad culinaria de las raíces, del clima y del estado de madurez del cultivo. Esta operación es quizás la que más influye en la estructura de los costos de producción de yuca en razón de la demanda de mano de obra: la cosecha manual requiere alrededor de 25-30 jornales/hectárea para una cosecha de 25-30 t/ha en una jornada de trabajo de ocho horas. Esta labor de cosecha no incluye la selección y recolección del material de las raíces para plantación ni su empaque (Ospina *et al.*, 2002).

La cosecha puede ser realizada de forma manual o mecanizada, dependiendo del tamaño de la plantación. En general, la cosecha de la yuca es más simple si se ha plantado el cultivo en caballones y más difícil si está en plano. Así mismo, la extracción de las raíces es más fácil en un suelo arenoso y suelto que en un suelo arcilloso o pesado. Esta conformación del cultivo se debe planear antes de la siembra, sea esta manual o mecanizada, para de esta manera facilitar la cosecha.

Cosecha manual

La primera etapa en la cosecha manual comprende el corte y la selección del follaje y de la semilla. Se deja sólo una parte del tallo de 20-40 cm de longitud adherida a las raíces para extraerlas más fácilmente del suelo. La segunda etapa comprende la extracción de las raíces y va acompañada de la recolección, la limpieza y el empaque de las mismas. Estas tres últimas labores son comunes a las dos formas de cosecha, tanto manual como mecanizada.

En la cosecha manual se consideran cuatro modalidades:

- *con la mano*: en los suelos livianos o arenosos las raíces se pueden arrancar fácilmente con la mano (Lámina 9 a).
- *con palanca*: en los suelos cuya textura va de franca a arcillosa y que presenten problemas de compactación, se amarra el tallo con cadenas o cuerdas a un palo suficientemente largo, recto y firme para que sirva de palanca contra el suelo.
- *con arrancador*: en esta técnica se sujeta el tallo mediante un implemento de enganche a modo de tenaza que va unido aproximadamente a 30 cm del extremo de un palo que se apoya en el suelo; el tallo se engancha por su parte inferior y se hace palanca hacia arriba. Este método se utiliza comúnmente en Tailandia (Lámina 9 b).
- *con cincha*: en los suelos de textura mediana, se usa una especie de correa que el agricultor se ata, dándole vuelta a su espalda, pasándolo sobre su hombro y

Lámina 9

Cosecha de yuca con la mano (a) y con arrancador (b)



CLAYUCA

amarrándolo luego al tallo. Las manos sirven de agarre y dan vibración al tallo y el cuerpo sirve de palanca.

Cosecha mecanizada

La cosecha de la yuca es una de las labores más difíciles de mecanizar, dadas las restricciones que provienen de la forma y distribución de las raíces en el suelo, la profundidad en que se encuentran, la presencia de los residuos de la recolección del follaje y de la semilla. La cosecha mecanizada de la yuca ofrece ventajas competitivas ya que esta implica una reducción en la mano de obra requerida, en los costos de producción, en el tiempo de recolección por unidad de área y en el costo final del producto. En consecuencia, se puede aumentar el área sembrada y justificar la inversión inicial en maquinaria agrícola. Según estimaciones realizadas por CLAYUCA en Colombia, la reducción de jornales para la cosecha de una hectárea pasa de 25 en cosecha manual a 15 en cosecha mecanizada.

Las máquinas cosechadoras de yuca, que se ofrecen comercialmente, requieren la acción humana en el momento de extraer las raíces (Lámina 10). La función de estos implementos consiste en romper el suelo y aflojar las raíces. Trabajan a profundidades promedio de 40-50 cm y son muy exigentes en potencia.

Existen dos clases de cosechadores: de tipo rígido y de tipo flexible (Lámina 11). El cosechador rígido consta de una cuchilla en forma de V y su desventaja es que causa compactación en el suelo. El cosechador flexible consta de un implemento en forma de tenedor, que actúa como un subsolador -equipo utilizado para romper capas compactadas de suelo y labranza vertical; tiene un mejor desempeño en cuanto a la forma de romper el suelo ya que luego de la labor este queda más



Lámina 10
Cosecha mecanizada de yuca usando cosechador flexible



CLAYUCA

Lámina 11

Cosechador rígido (a) y cosechador flexible (b)



suelto; se recomienda el uso de este implemento. Los dos tipos de cosechadores tienen la misma eficiencia de trabajo.

Cuando se planea utilizar un cosechador deben tenerse en cuenta algunos factores como:

- la *humedad del suelo*: es más fácil cosechar cuando el suelo está seco que cuando está húmedo
- la *densidad de siembra*: estos implementos pueden aflojar el suelo de dos surcos simultáneamente
- el *espaciamiento entre surcos*: es recomendable que no sea menor de 90 cm para evitar pérdidas por raíces enterradas o cortadas y que no sea mayor de 120 cm ya que esta es la longitud de las alas de la cuchilla del cosechador y si la distancia fuera mayor las raíces no se aflojarían de manera satisfactoria, y finalmente
- la *velocidad de operación del tractor*: debe ser constante durante toda la operación de cosecha ya que un cambio puede variar la profundidad de trabajo del cosechador lo que aumenta la pérdida por raíces cortadas o enterradas.

Capítulo 2

Mercado y comercialización de la yuca

El cultivo de la yuca tiene una gran importancia para la seguridad alimentaria y la generación de ingresos, especialmente en las regiones propensas a la sequía y de suelos áridos. 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.

A causa de la estacionalidad de las lluvias, gran parte de la producción de yuca se concentra en ciertas épocas del año. Esta situación ocasiona a la agroindustria de la yuca una escasez de materia prima durante algunos meses del año y abundancia en otros, pérdidas de las raíces frescas que se almacenan durante largo tiempo en épocas de oferta excesiva y oscilaciones en los precios de la materia prima y del almidón. A lo anterior, se une el hecho de que en ciertas épocas del año la escasez de yuca impide cubrir la demanda para su transformación poscosecha.

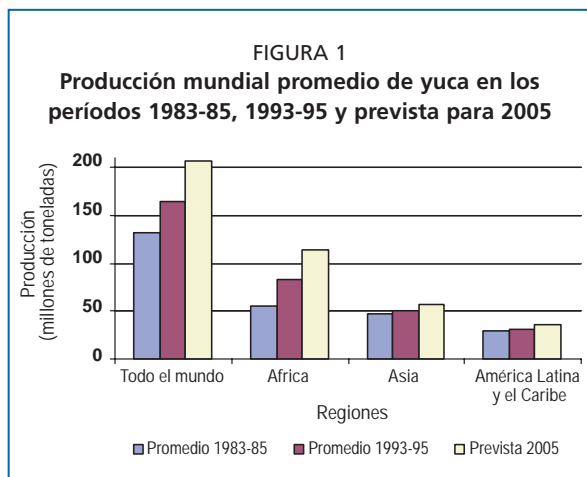
Los obstáculos que han impedido la consolidación del cultivo de la yuca en muchos países son los altos costos de producción, la baja productividad y las técnicas inadecuadas de transformación. La yuca, en la mayoría de los países en que se cultiva, no se ha visto beneficiada por inversiones a nivel de tecnologías de siembra, cosecha y poscosecha, ni de investigación sobre productos de alto valor agregado. La industrialización de la yuca mejoraría la rentabilidad de la cadena agroindustrial y podría abastecer un mercado insatisfecho y reducir la dependencia de las importaciones de los países productores de yuca. La promoción de nuevas plantaciones tendría justificación en el momento en que se hayan desarrollado los mercados para los productos de yuca o asegurado su empleo y aprovechamiento de forma planificada.

Si se considerara el cultivo de la yuca como un producto estratégico y base para el desarrollo de numerosas industrias y se le diera el tratamiento correspondiente en cuanto a inversiones, esta raíz seguramente podría favorecer el desarrollo del sector agroalimentario e industrial de los países en desarrollo contribuyendo a la generación de riqueza y de empleo rural y urbano. Sin embargo, para hacer viable su consolidación se deben desarrollar sistemas de producción rentables y sostenibles por lo cual, es cada vez más urgente la adaptación, desagregación o generación de tecnologías que, una vez incorporadas, fortalezcan la cadena productiva y sus derivados industriales.

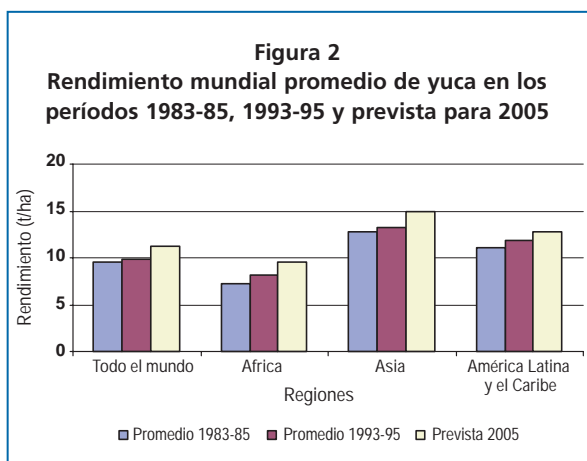
El principal competidor de la yuca es el maíz que tiene consolidada una posición de liderazgo en los mercados agrícolas e industriales especialmente porque los Estados Unidos de América, primer productor a nivel mundial, poseen un grado avanzado de tecnificación, estandarización de procesos, altos rendimientos del cultivo con uso de ingeniería genética que permiten grandes volúmenes de abastecimiento con calidad estándar y estabilización de precios. Grandes cantidades de maíz con destino al mercado de concentrados para animales y la industria alimenticia son comercializados a nivel mundial.

En la mayor parte de las regiones productoras de yuca se ha explotado la posibilidad de utilizar este cultivo como insumo en los procesos manufactureros y solamente países como Brasil, Indonesia y Tailandia han promovido el desarrollo de la industria de la yuca y sus derivados para satisfacer las necesidades internas y de exportación; cuentan con ventajas comparativas identificadas con grandes extensiones de tierra, mano de obra

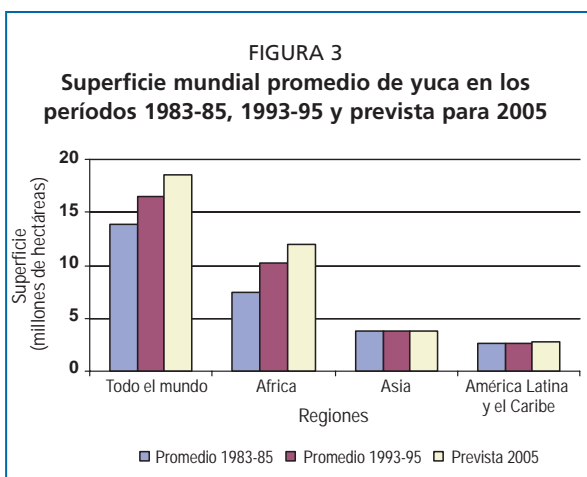
a bajo costo, reducción de costos de transporte y un manejo eficiente de la comercialización de sus productos con precios competitivos.



Fuente: Con datos de FIDA y FAO (2000).



Fuente: Con datos de FIDA y FAO (2000).

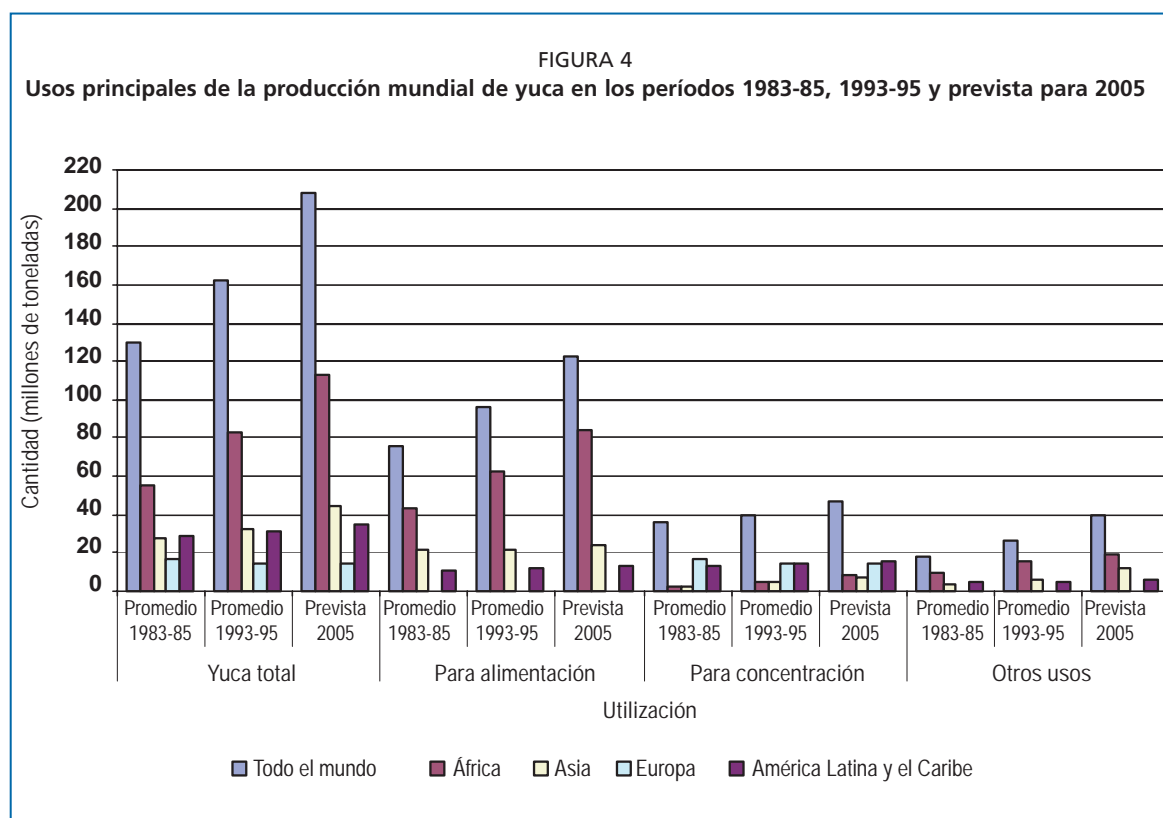


Fuente: Con datos de FIDA y FAO (2000).

PRODUCCIÓN, SUPERFICIE Y RENDIMIENTO MUNDIAL DE LA YUCA

A pesar de que la yuca es un cultivo originario de América Latina y el Caribe, esta región aporta solo el 18,3 por ciento de la producción mundial (FAO, 2006). Las proyecciones de la FAO para el 2005 indicaron que la producción de yuca aumentaría a casi 210 millones de toneladas y la tasa de crecimiento mundial sería de 2,2 por ciento. Este crecimiento no significa necesariamente un incremento en el comercio por lo que es necesario generar desde ya nuevos mercados con el desarrollo de productos innovadores y diferenciados, de mejor calidad y de mayor valor agregado ampliando así la oferta de productos derivados de la yuca. Las Figuras 1, 2 y 3 registran el promedio de la producción, el rendimiento y la superficie del cultivo de la yuca, entre los períodos de 1983-85, 1993-95 y la prevista para año 2005 (FIDA y FAO, 2000).

África, Asia y América comparten casi totalmente la producción mundial de yuca, con participaciones del 54,2 29,4 y 18,3 por ciento, respectivamente. La dinámica de la producción mundial de yuca para el período 1990-2002 señala un bajo crecimiento e incluso un descenso en algunas regiones. En efecto, la producción mundial creció un 1,16 por ciento, valor frente al cual África registra una tasa de crecimiento de 2,3 por ciento seguida por América con 0,18 por ciento. Asia y Oceanía por su parte se comportaron con tasas de crecimiento negativas. El mayor productor de yuca en el mundo, Nigeria, siguió la tendencia de crecimiento bajo, reflejado en un incremento de 0,5 por ciento durante los últimos cinco años. Ghana, por su parte, registra el mayor crecimiento del periodo: 5,6 por ciento. El 70 por ciento de la producción de yuca, tal como ocurre actualmente, seguirá concentrada en cinco países: Nigeria, Brasil, Tailandia, Indonesia y República Democrática del Congo.



Fuente: Con datos de FIDA y FAO (2000).

Según la proyección prevista para el 2005 la utilización de la yuca estará distribuida en alimentación 59 por ciento, piensos (concentrados) 22 por ciento, usos industriales 6 por ciento y pérdidas poscosecha 13 por ciento (Figura 4). Aunque probablemente la yuca en trozos y en gránulos para piensos continuará siendo el principal producto de la yuca objeto de comercio, el comercio mundial de almidón industrial y sus derivados se encuentra en fase de expansión. Del 59 por ciento de la producción de yuca destinada a la alimentación, los productos con alto valor agregado serán el principal factor de crecimiento del sector en detrimento de las raíces frescas, dado el gran volumen y carácter perecedero de estas últimas. Sin duda alguna es un mercado en el cual muchos países productores pueden incursionar y a la vez trabajar para reducir las pérdidas poscosecha con manejos adecuados para prolongar la conservación de la raíz.

Las cifras de producción, área sembrada y rendimiento de yuca estimadas para el año 2005 se presentan en el Cuadro 1.

CUADRO 1
Cifras seleccionadas de producción, área y rendimiento estimadas para el año 2005.

País/región	Producción (millones de tm)	Área (millones de ha)	Rendimiento (tm/ha)
GLOBAL	203,9	18,6	10,9
África	110,5	12,3	9,0
Nigeria	38,2	4,1	9,3
R. D. del Congo	14,9	1,8	8,1
Ghana	9,7	0,8	12,4
Angola	8,6	0,7	11,5
R.U. de Tanzania	7,0	0,7	10,4
Mozambique	6,1	1,1	5,8
Uganda	5,5	0,4	13,5
Asia	55,9	3,4	16,4
Indonesia	10,5	1,2	15,9
Tailandia	16,9	1,0	17,2
India	6,7	0,2	27,9
Viet Nam	5,7	0,4	14,6
América Latina y el Caribe	37,3	2,9	12,8
Brasil	26,6	1,9	13,8
Paraguay	4,9	0,3	15,8
Colombia	2,1	0,2	11,5
Oceania	0,2	0,02	10,8

Fuente: FAO (2006)

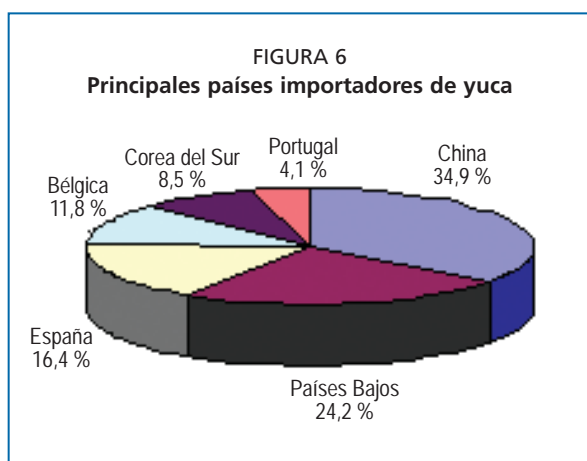
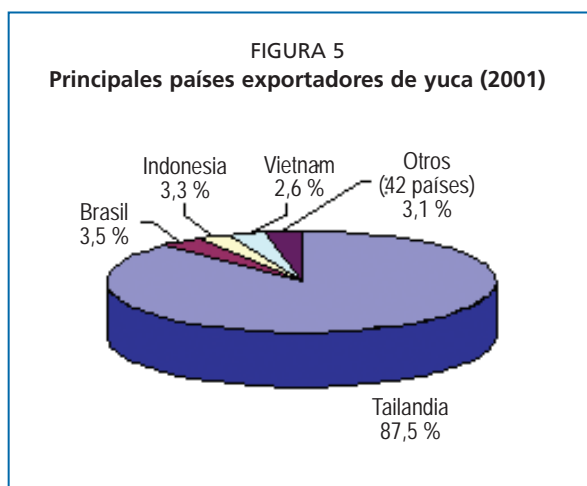
Comercio internacional

El continente asiático absorbe el 94 por ciento del total mundial de las exportaciones de yuca seca, seguida por Europa y América con una mínima proporción. Con excepción de Asia, que tuvo un comportamiento comercial negativo, todos los continentes han logrado un comportamiento positivo pero con una tasa de crecimiento mínima para el período 1990-2001 que no sobrepasa en ningún caso el uno por ciento. Tailandia, en particular, que es el principal exportador, creció durante los últimos cinco años a una tasa del 1,5 por ciento anual.

En el decenio de 1990 el comercio mundial de productos de yuca, excluido el comercio con los países de la Unión Europea, ha oscilado entre 10 y 19 millones de toneladas equivalente a raíces de yuca fresca. El comercio de la yuca es relativamente limitado debido al volumen y al carácter perecedero de las raíces, por ello se reduce prácticamente al intercambio entre países limítrofes. No obstante, Costa Rica es el líder de las exportaciones de raíces frescas de yuca a Estados Unidos de América y Europa, la que es consumida principalmente por grupos étnicos radicados en esos países.

Si bien la producción de yuca esta centrada en cinco países, el mayor exportador es Tailandia con 88,5 por ciento del total de las exportaciones (Figura 5). El resto procede de exportadores de Asia, África y América Latina y el Caribe, de países como Brasil (3,5 por ciento), Indonesia (3,3 por ciento) y otros pequeños exportadores como China, Ghana, Madagascar, Nigeria y Tanzania.

Europa es el principal importador de yuca seca a nivel mundial, seguido de cerca por Asia, con participaciones del 55 por ciento y 43 por ciento, respectivamente. Ningún continente registró valores positivos en la dinámica de sus importaciones en



los últimos diez años, lo cual contrasta con el comportamiento positivo de los principales países importadores que, exceptuando a Corea del Sur, han presentado valores positivos para el último quinquenio; China creció un 36 por ciento, los Países Bajos siete por ciento y España seis por ciento (Figura 6). Altas cuotas convenidas en la Política Agrícola Común para los precios domésticos de granos, están siendo usadas para proteger la industria de los países de la EU, lo cual evidentemente afecta de manera negativa las exportaciones de regiones como Asia y África. Las importaciones de yuca tailandesa en gránulos por parte de la EU están disminuyendo desde finales de la década de 1980. Igualmente, el descenso en las importaciones ha correspondido con una baja en los precios de los cereales que han sustituido en gran parte a la yuca seca en trozos y en gránulos como insumo para la alimentación animal.

Los países que presentan el desempeño más interesante como mercados objetivo de yuca, debido a que combinan en mejor medida el comportamiento de sus importaciones (crecimiento y volumen) y su consumo interno (total y *per capita*) son, en orden de importancia, Países Bajos, China, España, Corea del Sur, Portugal, Singapur, Reino Unido, Francia, Estados Unidos de América,

Japón y Corea del Norte. China se considera como un mercado altamente atractivo dentro del contexto mundial por tener una tasa media de crecimiento anual y un volumen de importación superiores al promedio; es decir, nueve por ciento y 68 400 toneladas respectivamente (CCI, 2003).

La yuca continúa su transición hacia un mercado orientado a productos y materias primas para la industria de procesamiento. Mientras más del 60-70 por ciento de los suministros de la yuca todavía se destina para comidas tradicionales la capacidad de la industria de almidón de yuca está aumentando significativamente, sobre todo en el suroeste de Brasil, seguido por Colombia, Venezuela y recientemente Paraguay. Dentro de la industria se ha puesto en evidencia una tendencia hacia la utilización de almidón modificado e hidrolizado, en preferencia a la utilización de almidón nativo. Durante la última década, la utilización de la yuca para la alimentación de animales ha aumentado su importancia relativa sobre todo en Colombia y también, en menor grado, en Brasil, Ecuador, Bolivia y Perú. Más reciente es la captación de yuca para bocadillos y la industria de productos típicos, sobre todo en Brasil y Colombia.

CONSUMO MUNDIAL

El consumo mundial *per capita* de yuca en 2001 fue 29 kg/año y la tasa de crecimiento en el período 1997-2001 fue de 1,7 por ciento. Al igual que todas las raíces y tubérculos la yuca es considerada como un bien inferior; es decir, su nivel de consumo disminuye al aumentar el ingreso del consumidor. Las características nutricionales de la raíz y sus precios relativos, así como las condiciones agroecológicas, climáticas y tecnológicas requeridas para su cultivo hacen de la yuca un producto popular entre pequeños agricultores de bajos ingresos en América Latina, el sudeste de Asia y África.

La yuca es una de las fuentes más ricas de almidón del cual sus raíces contienen más de 30 por ciento. A nivel mundial la utilización del almidón se destina a fines industriales como papel, cartón, dextrinas, colas, textiles, resinas, maderas compuestas, productos farmacéuticos, edulcorantes, alcohol, entre otros. Estos productos, aunque representan un bajo porcentaje del uso de la producción mundial de yuca, son los que tienen mayor valor agregado en el mercado. La harina, almidón y otros productos para alimentación humana de gran valor agregado como trozos deshidratados, copos, productos para refrigerios, mezclas para tortas, panadería, tallarines, helados son los que se intensificarán según el análisis de las nuevas tendencias (FIDA y FAO, 2000).

La incorporación de nuevas tecnologías en el sector de transformación primario -sistema de biomasa integrada- y secundario -modificación de almidones- implica el aprovechamiento integral de la planta de yuca con técnicas de cultivo ambientalmente sostenibles y permite una utilización de materiales de la planta considerados como residuos con productos que le agregan valor a la cadena productiva. Las tecnologías de modificación surgen como la alternativa más rentable para el desarrollo del cultivo de la yuca. Estas incorporaciones constituyen el motor de un desarrollo tecnológico sostenible para el cual es indispensable trabajar en la identificación de nichos de mercado para productos procesados y en los factores que harían viable el desarrollo de la agroindustria de la yuca: la producción de material vegetal para la reproducción de nuevas variedades, la transferencia de tecnología, los estudios de factibilidad de proyectos agroindustriales, la identificación de mercados internos y externos y la aplicación de tecnologías de procesamiento, entre otros, ya que la economía se ha transformado y la globalización exige esquemas más competitivos.

Capítulo 3

Productos alimenticios

Existen diferentes productos elaborados a partir de la yuca que dependiendo de la región donde se cultive esta raíz constituyen productos autóctonos o típicos de cada población. Entre los más conocidos se encuentran *farinha*, raspa, tapioca, gari, casabe, almidón agrio de yuca, harina de yuca, pandeyuca, pandebono, enyucado, carimañolas, diabólicos, croquetas de yuca, bollo de yuca, bibingka de yuca, torta de yuca y croquetas de yuca.

EJEMPLOS DE ALIMENTOS TRADICIONALES

Farinha

Las raíces se limpian superficialmente y son ralladas, luego se envuelve esta masa en hojas y se le comprime con un instrumento adecuado, desde el tradicional tipití hasta filtro-prensas, que permitan retirar la mayor cantidad de líquido posible. Este material se mezcla con un poco de pulpa que se ha dejado fermentar durante tres días para darle mejor calidad. La pasta se amasa y se pasa por un cedazo obteniéndose una harina ligeramente húmeda. Después se coloca en un recipiente sobre un horno plano cubierto en su parte superior de losas de granito, con lo que se consigue un calor uniforme sin peligro de que se queme la pasta. Con una pala de madera, se da vueltas a la pulpa continuamente durante 3-4 horas de cocción, obteniéndose un producto granular y apenas tostado. Si se mantiene seca, la *farinha* puede conservarse indefinidamente. Constituye un excelente preparado que se consume generalmente como el arroz y es muy usada en Brasil, acompañado con otros alimentos, especialmente carne y salsa (Carrizales, 1991; Grace, 1997).

Raspa

Las raíces peladas se cortan en trozos grandes y se secan. El producto seco se muele, se tamiza y la harina conocida como *farinha* de raspa, se mezcla con la harina de trigo para la fabricación de pan, macarrones y galletas. Es un producto elaborado en Brasil (Grace, 1977).

Tapioca

Se obtiene del lavado de masa rallada de yuca, sobre un trapo, encima de un recipiente de madera, agitándose cada parte en aguas distintas hasta que se ha extraído casi todo el almidón. Los recipientes con la lechada de almidón se dejan aparte para que esta se asiente. Después de algún tiempo se decanta el agua y se extiende el almidón al sol en esteras de caña, en las que se seca durante dos días, obteniéndose la harina de tapioca. Este producto se usa en Brasil para hacer tortas (Grace, 1977).

Gari

En áreas rurales, las raíces son peladas, ralladas y la pulpa se pone en un gran saco de tela y se deja al sol para escurrir y fermentar comprimida por pesos que se colocan sobre esta (piedras o maderos). Cuando la pulpa está suficientemente seca, se retira del saco para un secado final; esta se tuesta o fríe (a menudo con aceite de palma) hasta que se seca y se muele obteniéndose el producto en forma de harina gruesa. En el proceso de fermentación la masa se semidextriniza por acción del calor, se libera el ácido cianhídrico a bajo pH por hidrólisis espontánea del glucósido cianogénico de la yuca y se desarrolla el sabor característico del *gari*. En la primera etapa del proceso, se

producen ácidos láctico y fórmico por acción bacteriana sobre el almidón y finalmente a más bajo pH es atacado por un hongo que aumenta la acidificación y produce el aroma característico. Este alimento es popular entre los grupos de bajos ingresos de África occidental (Grace, 1977).

Harina de yuca industrial

La harina de yuca es obtenida por el proceso de molienda y tamizado de trozos secos de yuca. Las raíces de yuca son lavadas para retirar las impurezas y la cascarilla y son troceadas en una picadora. Los trozos son secados al sol o artificialmente y una vez secos son molidos y tamizados para obtener la harina.

La harina de yuca es usada para el consumo humano en la industria de la panificación, en la preparación de harinas compuestas trigo – yuca para la elaboración de pan y galletas, fideos y macarrones, como relleno para carnes procesados; como espesante de sopas deshidratadas, condimentos, papillas y dulce de leche y para la elaboración de harinas precocidas y mezclas instantáneas (Fernández *et al.*, 1992).

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).

PANES Y TORTAS

Casabe

Las raíces son lavadas, se les quita la corteza y luego son ralladas. A la masa rallada se le extrae parte de la humedad colocándola en el interior de un cesto cilíndrico, alargado y angosto fabricado en palma (*bordoncillo*) llamado *tipiti* o *sebucán*, el cual es suspendido y comprimido al estirarse bajo la acción del peso de piedras amarradas a su extremidad o bien al de una persona que coloca transversalmente un madero y se sienta sobre el mismo; al extenderse, el sebucán va exprimiendo el jugo amargo blanquecino, denominado *yare* que contiene gran porcentaje de ácido cianhídrico. De dicho jugo se extrae el almidón por simple decantación y evaporación. Luego, la masa relativamente seca es extraída del sebucán y es cernida mediante un tamiz con el objeto de separar la parte fibrosa que es empleada en la alimentación del ganado porcino; la parte fina es depositada en cestones.

La harina semiseca y cernida se extiende sobre una plancha caliente circular de aproximadamente 50 cm de diámetro, generalmente calentada con leña, La harina es calentada hasta que adquiere un ligero color oscuro por un lado, formando una torta sólida delgada. En este proceso la torta va perdiendo humedad y eliminando el ácido cianhídrico. Luego se da la vuelta a la torta ya formada para añadirle otra porción de harina para hacer *la cara del casabe* puliendo su superficie. Las tortas se extienden sobre armazones de caña para terminar de secarlas bajo la acción del sol o cerca de los fogones donde son preparadas de modo que permita captar calor proveniente del fuego; de esta forma se logra que la torta quede parcialmente tostada y crocante quedando listas para ser consumidas.

El casabe es de textura dura y tiene un sabor excelente; generalmente se consume después de humedecerlo en una salsa. Este producto es muy común en las islas del Caribe, Colombia y Venezuela (Torrice, 1976; FAO, 1991).

Pandeyuca

Para su preparación se mezclan 500 g almidón de yuca agrio o fermentado de yuca con 250 g de queso rallado, se adicionan dos huevos, una cucharada de mantequilla y una cucharadita de polvo de hornear; se mezclan los ingredientes y se hacen los panes en la forma que se deseen, generalmente en forma de media luna, se colocan en el horno a 200 °C y se dejan dorar. Este producto es muy popular en Colombia (CIAT, 1982).

Pandebono

Se mezclan 250 g de almidón agrio de yuca con 500 g de queso rallado, 100 g de harina de maíz y luego se adicionan lentamente 125 mL de leche, 50 g de mantequilla y 30 g de azúcar formando una masa o pasta suave y consistente. Después se forman bolas o rosquillas, se colocan en un molde y se llevan a un horno precalentado a 180 °C por 15 minutos hasta que los panes obtengan un color dorado. Este producto es muy consumido en Colombia (CIAT, 1982).

Enyucado

La yuca cruda es rallada y se le adiciona mantequilla, azúcar, natas de leche y se mezcla bien. Aparte, se ralla un coco y se le agrega agua, la cual ha sido hervida previamente con anís. Se mezclan todos los ingredientes para formar una pasta muy suave. La mezcla se vierte en un molde engrasado con mantequilla, se coloca al horno a fuego moderado por media hora o hasta que dore. Puede adicionarse dulce de guayaba como cubierta (CIAT, 1982).

Carimañolas

La yuca es pelada, cocida y molida. Luego se amasa muy bien con sal al gusto y se toman porciones del tamaño de un huevo, se presiona con el dedo pulgar en el centro y se pone dentro de ellas el relleno de carne, se cierran y se ponen a freír en aceite bien caliente hasta que se doren (se pueden rellenar también con queso rallado, con pollo o pescado desmenuzado). A las masas formadas se les puede agregar un poco de masa de maíz para evitar que al freír queden demasiado embebidas en aceite (CIAT, 1982).

Diabolines

Se mezclan almidón de yuca, queso rallado, huevos y agua con sal y se forman bolitas que se meten a un horno a 190 °C hasta que doren en 15-20 minutos (CIAT, 1982).

Bollo de yuca

La yuca se pela y se cocina unos 20 minutos de modo que no quede muy blanda. Luego se muele con uno por ciento de sal y se amasa, se envuelve en hojas de maíz formando el bollo, se amarran y se ponen a cocinar en agua por media hora (CIAT, 1982).

Bibingka de yuca

La yuca se pela y se ralla. Se baten huevos y se agregan azúcar, mantequilla y sal, y se mezclan bien. Luego, se adiciona la yuca rallada y la leche de un coco mezclando bien. Se coloca la masa en el horno a 190 °C en un molde forrado con hojas de plátano. Poco antes de terminar la cocción, se cubre con coco rallado y se esparce queso rallado o en tiras. Luego se coloca en el horno hasta que dore (CIAT, 1982).

Torta de harina de yuca

Harina de yuca y harina de trigo son mezcladas en igual proporción. Luego se adicionan huevos, mantequilla y queso molido y se mezcla muy bien. Se engrasa un molde, se espolvorea con harina de trigo y se vierte sobre este la mezcla anterior. Se lleva a un horno precalentado a 180 °C durante 45 minutos (CIAT, 1982).

Croquetas de yuca

La yuca es cocinada en agua hasta que esté blanda. Luego es molida y se le adiciona un poco de sal. La masa es formada en un embudidor, en forma de astillas y luego son prefritas en aceite durante un minuto a una temperatura entre 170-180 °C. Después, las croquetas se dejan enfriar hasta que adquieren la temperatura del ambiente. Enseguida se someten a una congelación rápida a a -30 °C por 24 horas, al final de las cuales pueden ser freídas en aceite durante 2-3 minutos a una temperatura de 170 °C (Sánchez y Alonso, 2002).

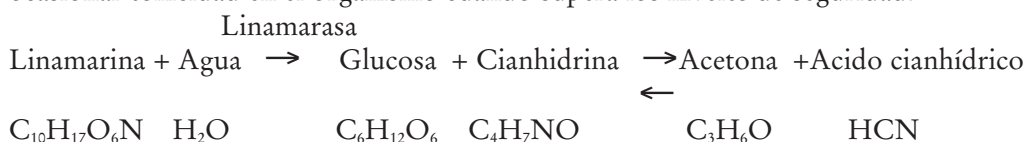
TOXICIDAD Y LIBERACIÓN DE ÁCIDO CIANHÍDRICO DE LA YUCA

Las variedades de yuca se clasifican en dulces o amargas, según el bajo o alto contenido de cianuro en las raíces. El cianuro en las raíces y en los tejidos de la planta de yuca se encuentra en dos formas: cianuro libre y cianuro ligado o combinado. Tanto la raíz como el follaje de yuca contienen cantidades variables de cianuro.

Compuestos tóxicos

El cianuro está constituido por dos tipos de glucósidos cianogénicos: linamarina y lotaustralina. Aproximadamente el 85-90 por ciento del cianuro total de los tejidos en la yuca se encuentra como cianuro ligado o linamarina y solo el 10-15 por ciento como cianuro libre o lotaustralina (Gómez, 1982).

Los glucósidos linamarina y lotaustralina al hidrolizarse por medio de la acción de la enzima linamarasa, dan origen a glucosa y cianhidrina, donde esta última se descompone en acetona y ácido cianhídrico libre gaseoso; este último es el que puede ocasionar toxicidad en el organismo cuando supera los niveles de seguridad.



Estos compuestos también son considerados responsables de la repelencia que las plantas ejercen sobre algunos insectos fitófagos o herbívoros en general. Lo mismo sucede en variedades con altos contenidos de estos glucósidos en lo que respecta a la tolerancia a ciertas enfermedades.

El nivel de glucósidos cianogénicos o ácido cianhídrico total presente en la raíz o follaje de yuca, determina la diferencia entre variedades amargas (de mayor toxicidad) y variedades dulces. Según las experiencias del CIAT en manejo de variedades de yuca (Sánchez, 2004), las variedades con menos de 180 ppm de HCN (en base seca) se clasifican como *variedades dulces*, las que poseen entre 180-300 ppm se clasifican en el rango *intermedio* y las que tienen un contenido de HCN mayor de 300 ppm son consideradas como *variedades amargas*. El contenido cianogénico de los distintos tejidos de una planta de yuca es considerablemente afectado por las condiciones edafoclimáticas del ambiente en que crece y por su edad al momento de la cosecha. Las raíces de un determinado cultivar pueden ser dulces cuando son producidas en un ambiente o más amargas en otros sitios. Sin embargo el contenido cianogénico de las variedades amargas, tiende a ser consistentemente mayor, hasta 1 000 mg de HCN por kilo de raíces frescas, que el de las variedades dulces, 20 mg de HCN por kilo de raíces frescas. No se conocen variedades de yuca que carezcan de cianógenos (Ceballos y De la Cruz, 2002).

El ácido cianhídrico se halla en mayor concentración en la corteza de la raíz -cáscara que se encuentra debajo de la cascarilla- que en la pulpa y es mayor en la periferia de esta que en el centro de la misma. La concentración de cianuro en las hojas varía, siendo mayor en las hojas tiernas o jóvenes que en las hojas adultas y, en general, las hojas poseen concentraciones similares a las encontradas en la cáscara de las raíces. En las variedades dulces, la mayor proporción de ácido cianhídrico se encuentra en la corteza, mientras que en las variedades amargas este se distribuye más uniformemente en la corteza y en la pulpa. No existen estudios que demuestren una relación entre la morfología de la yuca y su contenido de glucósido cianogénico.

Liberación de HCN

El cianuro ligado o linamarina libera ácido cianhídrico al tratarla con ácidos diluidos. En forma natural, la liberación del HCN se debe a la acción de la enzima linamarasa, la cual se encuentra normalmente en los tejidos de la planta de yuca, especialmente en la cáscara de la raíz y en las hojas. El contacto de la enzima con la linamarina ocurre cuando los tejidos sufren daños mecánicos o por trituración o destrucción de la estructura celular de la planta o tejidos. Por lo tanto, cuanto mayor sea la trituración más fácil es la liberación del HCN en la yuca; además, la temperatura y la humedad aceleran el proceso de liberación del HCN. Al picarse las raíces, la proporción de cianuro libre aumenta rápidamente a rangos de 30-40 por ciento del cianuro total comparado con los niveles de 10-15 por ciento de cianuro libre observados en la cáscara o en la pulpa cuando se analizan por separado.

Para almidones y harinas de yuca usadas como alimento la Comisión Conjunta FAO-OMS de Normalización de Alimentos, estableció como criterio un límite máximo de 10 mg/kg de HCN. Además, la conferencia conjunta de expertos en aditivos alimentarios de la FAO y de la OMS, consideró que no era posible estimar la cantidad de glucósido cianógeno que puede ser ingerida sin riesgo para la salud ya que se carece de una determinación cuantitativa de la toxicidad y no se dispone de información epidemiológica se llegó a la conclusión de que si la cantidad de HCN es inferior a 10 mg/kg no se puede establecer relación con la toxicidad aguda (FAO y OMS, 1991).

Salvo algunas excepciones, especialmente cuando los niveles de cianuro iniciales son relativamente altos y el tiempo de secado es corto, el cianuro residual en el producto seco puede ser superior a 100 ppm. Las raíces que presentan un alto contenido de este compuesto retienen suficiente cantidad después de la cocción lo que perjudica el sabor del alimento y aumenta la toxicidad.

El método comercial más efectivo para eliminar total o parcialmente el HCN, se basa en la acción controlada del calor. Temperaturas entre 40-80 °C son efectivas para eliminar la mayor parte del ácido cianhídrico libre. La liberación del HCN puede ocurrir por deshidratación natural por acción de los rayos solares, a temperatura entre 30-40 °C el cual es un sistema seguro para destruir el ácido cianhídrico, sin afectar la acción de la enzima linamarasa. Por otro parte, el secado artificial en secadores con circulación forzada con aire caliente a temperatura de 60 °C produce una eficiente eliminación del cianuro de los trozos frescos. Normalmente, los trozos de yuca secados al sol contienen niveles de cianuro menores a los obtenidos con secado artificial. Los trozos de yuca secados al sol suelen tener niveles de cianuro residual menores a 100 ppm y la mayor parte es cianuro libre, el cual suele volatilizarse fácilmente; en cambio la mayor proporción del cianuro residual en trozos secados artificialmente se encuentra aún como cianuro ligado (Gómez *et al.*, 1979).

Usando temperaturas no inferiores a 40 °C es posible eliminar hasta cerca del 80 por ciento del ácido cianhídrico libre y cuando la temperatura llega a 60 °C se puede eliminar más del 90 por ciento. El calentamiento a temperaturas mayores de 70 °C, con poca o ninguna humedad, elimina el ácido cianhídrico libre; sin embargo, con este método también se destruye la enzima linamarasa que es la enzima que permite

que los glucósidos continúen transformándose en ácido cianhídrico libre. El rango de temperatura óptimo para realizar la máxima liberación del HCN está comprendido entre 60-70 °C. Cooke y Maduagwu (1978) demostraron que los procesos de secamiento lentos a baja temperatura remueven el cianuro residual de manera más efectiva que los procesos rápidos a alta temperatura.

El proceso de cocción en agua es efectivo para eliminar el HCN libre y es posible eliminar más del 90 por ciento de este cocinando la yuca durante 15 minutos. El cianuro libre es mucho más fácil de eliminar que el cianuro ligado. Si se sumergen los trozos de yuca en agua fría antes del proceso de cocción, se puede eliminar la mayor parte del HCN libre después de 4-5 horas, es decir el 10-15 por ciento del HCN total de la yuca. Sin embargo, con este método el HCN ligado (85-90 por ciento del HCN total) permanece casi intacto y es por ello que es necesario someter la yuca a mayores temperaturas.

El proceso de ensilaje de los trozos de yuca permite una rápida y total conversión del cianuro ligado a cianuro libre en prácticamente 4-7 días del inicio del proceso, al final del cual la biomasa ensilada posee un 30 por ciento del cianuro total inicial presente como cianuro libre que es el más volátil.

En resumen, los procesos normales a los cuales son sometidas las raíces de yuca para la alimentación animal, secado o ensilaje o para la alimentación humana por medio de la acción controlada del calor; constituyen medios eficientes para reducir la cantidad de cianuro a niveles inocuos.

Envenenamiento con ácido cianhídrico

La ingestión de grandes cantidades de yuca con alto contenido de cianógeno, en forma cruda o mal procesada, puede causar envenenamiento fatal; la dosis letal mínima de ácido cianhídrico en los seres humanos es de 60 ppm. Aunque la intoxicación aguda por ácido cianhídrico es poco frecuente, el consumo prolongado de pequeños niveles del tóxico pueden originar problemas nutricionales y fisiológicos serios. La mayoría de los síntomas de intoxicación se pueden asociar con la afinidad del ácido cianhídrico con iones metálicos como el hierro y el cobre. El ion cianuro reacciona con el ion hierro de la hemoglobina y forma cianohemoglobina, lo que imposibilita el transporte del oxígeno en la sangre. Asimismo, el ion cianuro puede formar complejos con algunas enzimas que tiene iones cobre como el citocromo-oxidasa, afectando ciertas reacciones del metabolismo, que pueden ocasionar depresión en los centros medulares, originando dificultades respiratorias y efectos tóxicos protoplasmáticos que pueden producir la muerte en casos extremos de intoxicación (Buitrago, 1990).

Por otra parte, en las poblaciones con altos índices de desnutrición se pueden presentar problemas de deficiencia de proteínas como el Kwashiorkor o enfermedades neurológicas como el Konzo. Se ha encontrado que cuando una enfermedad crónica ha estado asociada con el consumo de yuca, las víctimas han padecido también de una deficiencia proteínica; esto sugiere que hay una relación entre el envenenamiento por yuca y la deficiencia de proteína. Con la ayuda de la enzima rodanasa, el cuerpo humano detoxifica el cianuro mediante la formación de tiocianato, el cual es eliminado por medio de la orina; es el producto de la reacción entre el azufre orgánico de la proteína alimenticia y el cianuro libre de la yuca.

Cuando hay una exposición constante a los cianógenos de la yuca, la mayor síntesis de rodanasa impone una demanda adicional de aminoácidos de las reservas del cuerpo. Para detoxificar un mg de HCN, el cuerpo necesita el suministro diario de cerca de 1,2 mg de azufre alimenticio proveniente de aminoácidos que contengan azufre. Si se consume regularmente yuca, las demandas de rodanasa y de los aminoácidos con azufre se agotan, y si la dieta es inadecuada, se puede perjudicar la síntesis de muchas proteínas vitales para funciones corporales, especialmente las del sistema nervioso central, dando como resultado el desarrollo de enfermedades de deficiencia proteínica. Con el tiempo,

la pérdida de azufre de este sistema desencadena una parálisis súbita e irreversible (Padmaja, 1995).

Cuando se comparan los contenidos proteínicos del arroz, el trigo y la yuca, esta última queda evidentemente rezagada. Un adulto que consuma un kilo de yuca tiene que ingerir 52 g de proteína de otras fuentes para obtener la ingesta diaria recomendada de 65 g. Por el contrario, en promedio, un kilo de trigo proporciona 121 g de proteína y uno de arroz 64 g. En conclusión, si el consumo de proteína es superior al adecuado, tanto para los requerimientos metabólicos generales como para la eliminación del cianuro de productos derivados de la yuca, los efectos tóxicos se reducen.

Capítulo 4

Deterioro poscosecha y conservación de las raíces de yuca

Una de las mayores limitaciones para aumentar el consumo de yuca en la alimentación es la dificultad de conservar las raíces después de la cosecha. Las raíces de yuca se deterioran rápidamente, sufriendo dos tipos de deterioro, uno fisiológico y otro microbiano, volviéndose inaceptables para el consumo humano o para otros usos. El deterioro aumenta los costos y riesgos y causa pérdidas considerables a productores de yuca y a los comerciantes mayoristas y minoristas; esto origina un alto margen de comercialización para compensar el volumen apreciable de raíces que se pierden.

El deterioro fisiológico necesita oxígeno para su desarrollo e involucra reacciones enzimáticas; se puede evitar impidiendo el acceso de oxígeno a los tejidos parenquimatosos o inhibiendo las reacciones enzimáticas. El deterioro microbiano está asociado a la actividad de microorganismos patógenos y es propiciado por ambientes de humedad relativa y temperaturas altas, especialmente con daños físicos.

El deterioro poscosecha puede ser prevenido con el uso de buenas prácticas de cosecha que eviten los daños ya que las raíces sanas permanecen sin deteriorarse durante un tiempo considerablemente más largo en comparación con las raíces heridas o golpeadas; también es posible usar agentes antimicrobianos inocuos para el hombre y que no dejen residuos en los tejidos del parénquima de la raíz.

El conocimiento de los mecanismos responsables del deterioro poscosecha de las raíces de yuca ha permitido aplicar varios principios en el diseño de sistemas de almacenamiento y conservación, mediante tratamientos en pre y poscosecha con el fin de prevenir o eliminar el deterioro.

DETERIORO FISIOLÓGICO Y MICROBIANO

El deterioro fisiológico o primario se inicia durante las primeras 48 horas después de la cosecha y su sintomatología consiste básicamente en una desecación de color blanco a café, que normalmente aparece en forma de anillo en la periferia de la pulpa, la cual se observa en cortes transversales de la raíz (Lámina 12 a). Además, se presentan zonas con estrías azul-negras, constituidas por vasos del xilema deteriorados, las cuales se pueden observar fácilmente en cortes longitudinales de las raíces afectadas (Lámina 12 b). El deterioro fisiológico se inicia rápidamente en las heridas, que casi siempre ocurren en los extremos distal y proximal de la raíz durante la cosecha.

La coloración típica del deterioro fisiológico se debe a la presencia de pigmentos de taninos, cuya formación está relacionada con la presencia en los tejidos de un compuesto fenólico llamado escopoletina. Dicho compuesto generalmente no se encuentra en las raíces frescas o, si lo hay, está en muy bajas concentraciones; sin embargo, a las pocas horas de la cosecha su concentración aumenta considerablemente. Esta se puede detectar en las raíces antes de que se presenten

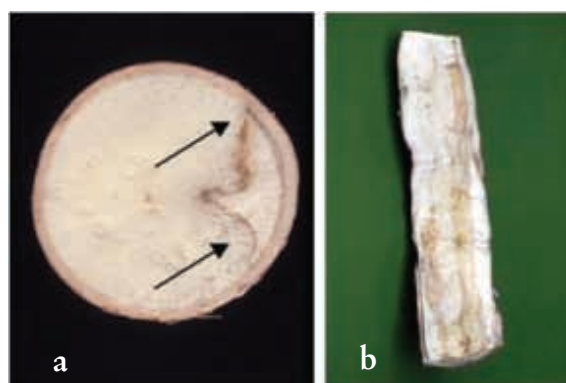
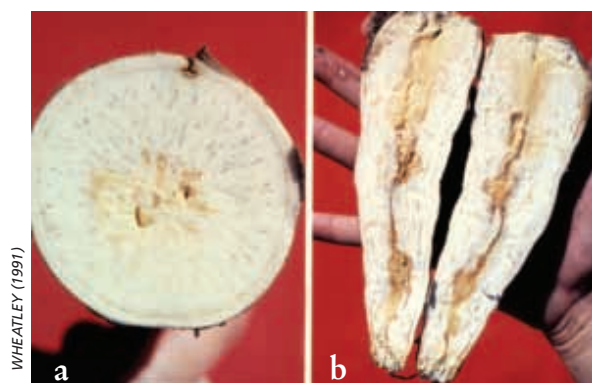


Lámina 12
Deterioro fisiológico en raíces de yuca
 a. Desecación de color blanco a café
 b. Estrías azul-negras



WHEATLEY (1991)

Lámina 13*Deterioro microbiano en raíces de yuca**a. Estriado vascular.**b. Pudrición húmeda.*

los síntomas típicos de deterioro exponiendo las raíces a luz ultravioleta; en presencia de esta luz la escopoletina emite una fluorescencia de color azul intenso, lo cual indica que el proceso de deterioro ha comenzado (Wheatley, 1983).

El deterioro microbiano o secundario ocurre después del deterioro fisiológico y consiste en pudriciones causadas por hongos y bacterias, patógenos de las heridas. Por lo general se presenta en cualquier parte de la raíz después de 5-7 días de realizada la cosecha y depende de la intensidad de los daños físicos ocasionados a las raíces en el momento de la cosecha y de la capacidad de la flora microbiana del suelo y del medio ambiente para metabolizar el almidón de las raíces. El

síntoma inicial del deterioro microbiano es un estriado vascular semejante al observado en tejidos con deterioro fisiológico (Lámina 13 a), pero posteriormente se transforma en una pudrición húmeda con fermentación y maceración de los tejidos (Lámina 13 b).

FACTORES QUE INCIDEN EN EL DETERIORO POSCOSECHA DE YUCA

Las investigaciones realizadas en el CIAT han permitido definir que los factores más importantes en la incidencia de ambos tipos de deterioro de la yuca son los daños mecánicos, las diferencias entre variedades, las condiciones edafoclimáticas y la poda de la parte aérea de la planta (Wheatley, 1983).

Daños mecánicos

El comienzo y la intensidad del deterioro de las raíces están estrechamente relacionados con la presencia de daños mecánicos, los cuales normalmente ocurren en el momento de la cosecha. Por lo general, los primeros síntomas de deterioro se presentan debajo de las áreas donde se ha dañado o perdido la cáscara o en los extremos distal o proximal de las raíces, que son las zonas más propensas a sufrir daños físicos. La ocurrencia de daños mecánicos en las raíces es afectada por factores relacionados con las características varietales tales como la forma de las raíces; presencia de pedúnculos largos, adherencia de la cáscara, textura y grado de compactación del suelo y del método de cosecha manual o mecánico. Una práctica que permite reducir los daños causados por el deterioro asociado con los daños mecánicos, consiste en someter las raíces a un proceso de curado para tratar de sanar las heridas ocasionadas durante la cosecha e impedir así que sean atacadas por microorganismos.

Diferencias varietales

Se han determinado diferencias en la susceptibilidad al deterioro fisiológico entre distintas variedades de yuca y a la vez en una misma variedad. Existe una correlación positiva entre el contenido de materia seca de las raíces y el grado de deterioro fisiológico.

Condiciones edafoclimáticas

La susceptibilidad al deterioro de un cultivar es significativamente diferente dependiendo del lugar en el que se cultive. El comportamiento de un mismo cultivar al deterioro puede variar en el transcurso del año en un mismo sitio, posiblemente como consecuencia de los cambios climáticos. Los cultivares más resistentes al deterioro fisiológico de las raíces son aquellos que son más afectados por las condiciones adversas

de la zona tales como sequías, enfermedades e insectos. Las plantas que presentan los niveles más altos de defoliación y un bajo contenido de almidón en las raíces son las más resistentes.

Poda de la parte aérea de la planta

El nivel de deterioro fisiológico en poscosecha se reduce con la poda de la parte aérea de las plantas a 14-21 días antes de la cosecha. El efecto de poda se ha estudiado en raíces adheridas al tallo y en raíces desprendidas al momento de la cosecha; a medida que aumenta el tiempo transcurrido entre la poda y la cosecha, el deterioro fisiológico disminuye en ambos casos. Cuando el período entre la poda y la cosecha es de 1-2 semanas, las raíces adheridas al tallo se deterioran menos que las raíces sueltas; y cuando el período es de tres semanas las raíces almacenadas, en una u otra forma, son resistentes al deterioro. Los rebrotes en los tallos después de la poda no afectan su efecto en la disminución del deterioro; plantas cosechadas después de cinco meses de realizada la poda presentan resistencia al deterioro. Sin embargo, las podas y rebrotes sucesivos reducen el contenido de almidón y afectan la textura y calidad culinaria de las raíces.

TÉCNICAS DE CURADO Y CONSERVACIÓN DE YUCA

Hasta el momento no existe una técnica universal para conservar y almacenar raíces de yuca a nivel comercial. Según su duración hay tres tipos de conservación de raíces: a corto, mediano y largo plazo y según su duración existen diferentes técnicas de conservación.

El almacenamiento a *corto plazo* (7-10 días) facilita el mercadeo disminuyendo las pérdidas por deterioro luego de la cosecha de las raíces. En este caso, las técnicas de conservación usadas son los *silos de tierra* y *bolsas de polietileno*. Estas técnicas consisten en someter las raíces a temperaturas y humedades relativamente altas; condiciones en las cuales se ha observado que las heridas sanan rápidamente. Estos tratamientos estimulan la suberificación -formación de corteza- de las células exteriores próximas a las heridas y, posteriormente, la formación de súber a partir de algunas células parenquimatosas profundas que se multiplican y forman una nueva hilera de células de consistencia corchosa. Cuando la humedad relativa oscila entre 80-85 por ciento y la temperatura entre 25-40 °C, la suberificación ocurre entre el primer y cuarto día y el nuevo súber se forma después de 3-5 días. Estas técnicas no son apropiadas para almacenar grandes cantidades de yuca y mucho menos durante períodos prolongados.

Silos de tierra

Esta técnica de conservación es similar a la usada para conservar las papas en la cual estas son enterradas luego de su cosecha con el objeto de simular las condiciones en las cuales está el cultivo en el campo. El silo se debe construir en un terreno seco y nivelado, sobre el cual se hace un lecho circular de paja u hojas secas de caña o pasto. Las raíces frescas se amontonan sobre este lecho formando una pila piramidal, que se cubre con una capa de paja similar a la utilizada en la base. Finalmente, se recubre con tierra y se le hacen orificios de entrada y salida de aire (Booth, 1977). El silo de tierra permite mantener una alta humedad ambiental y, en condiciones adecuadas, las raíces se pueden curar por formación de súber que cicatriza las heridas ocasionadas durante la cosecha y el transporte de las raíces.

En los silos de tierra se podrían conservar las raíces de yuca hasta tres meses, pero al final las raíces tendrían una ligera disminución en el contenido de almidón y un aumento proporcional de azúcares. La curación y el tiempo de almacenamiento dependen del diseño del silo y de las condiciones predominantes en la región: temperatura y humedad relativa durante el período de almacenamiento. En períodos frescos y húmedos los resultados pueden ser satisfactorios pero durante períodos secos

y calientes en los cuales la temperatura puede subir rápidamente y mantenerse a más de 40 °C se puede perder casi todo el producto.

Bolsas de polietileno

En esta técnica las raíces de yuca se empacan en bolsas de polietileno las cuales se deben sellar para obtener las condiciones adecuadas para la curación. Las raíces empacadas en bolsas de polietileno con capacidad de hasta 20 kg se pueden almacenar hasta por una semana con pérdidas mínimas; luego de 7-10 días de almacenamiento se presenta deterioro microbiano. Una manera de disminuir la incidencia de hongos y bacterias, y por consiguiente el deterioro microbiano, es hacerle perforaciones a las bolsas para reducir la humedad interior y adicionalmente realizar un tratamiento con fungicidas.

Para el buen éxito de esta técnica de conservación se deben controlar algunas variables como:

- el *nivel del daño mecánico* que presentan las raíces a tratar, descartando las raíces dañadas, podridas o muy pequeñas;
- el *tiempo entre la cosecha y el almacenamiento* debe ser lo más corto posible, máximo 2-3 horas después de la cosecha;
- la *posibilidad de la curación de las heridas* de las raíces en las condiciones de almacenamiento, garantizando una humedad aproximada de 35 °C y una humedad relativa de 85-90 por ciento;
- la *capacidad de las bolsas que se utilicen*: cuanto mayor sea la cantidad de raíces por bolsa mayores son los problemas de deterioro microbiano;
- las *perforaciones en las bolsas* son convenientes para evitar que la humedad interna pueda llegar a 100 por ciento y favorezca las condiciones para el desarrollo de bacterias y hongos;
- el *tratamiento de las raíces con fungicidas* es indispensable si se quiere almacenar raíces por un período superior a dos semanas; se usa una solución de tiabendazol al 0,004 por ciento.

Teniendo en cuenta las variables mencionadas para la aplicación de esta técnica, las raíces de yuca se deben seleccionar antes de tratarlas y empacarlas, se lavan con agua y posteriormente se sumergen en la solución de tiabendazol durante cinco minutos. Luego las raíces se dejan secar al aire libre bajo sombra durante media hora; posteriormente se empacan en las bolsas plásticas y se cierran doblando dos o tres veces su boca y sellando el doblez con una grapadora, finalmente las bolsas se perforan. Cuando las raíces se manipulan con cuidado durante todo el proceso de tratamiento se pueden lograr almacenamientos exitosos de 2-4 semanas de duración. Sin embargo, en períodos de almacenamiento superiores a tres semanas, se puede presentar hidrólisis del almidón a azúcares lo cual genera en las raíces un sabor dulce (Wheatley, 1983).

El almacenamiento a *mediano plazo* (2-4 semanas) permite curar las heridas de las raíces y así eliminar el deterioro fisiológico y microbiano. Como ejemplo de este almacenamiento, están las técnicas de conservación en *cajas de madera con aserrín, emparafinado y encerado* de raíces de yuca.

Cajas de madera con aserrín

En esta técnica de conservación las raíces de yuca se empacan en cajas de madera de 50 cm de largo, 29 cm de ancho y 30 cm de alto conteniendo aserrín con una humedad del 50 por ciento para favorecer la curación de las heridas y evitar la pérdida excesiva de humedad de las raíces. Se debe tener cuidado de controlar la humedad del aserrín ya que cuando se usa demasiado seco no se curan las raíces y el deterioro fisiológico se acelera; si se usa demasiado húmedo se presenta un desarrollo excesivo de las raíces secundarias y ocurren pudriciones severas. Las cajas se sellan con una tapa de madera, se almacenan bajo sombra o a campo abierto y se cubren con tela impermeable. Uno de los principales inconvenientes de esta técnica es el uso de aserrín el cual es un material

hospedante de insectos y hongos. Esta técnica de conservación ha sido poco usada en la práctica, pero según estudios realizados de almacenamiento de raíces en estas cajas aproximadamente un 75 por ciento de las raíces conservan una calidad aceptable después de cuatro semanas; sin embargo, la demora de un día entre la cosecha y el almacenamiento reduce esta proporción hasta un 49 por ciento (Wheatley, 1983).

Emparafinado

Para la aplicación de esta técnica se deben usar raíces en óptimo estado, perfectamente sanas, libres de cortes y magulladuras y que sean de calidad aceptable para los consumidores. Para garantizar su efectividad debe aplicarse dentro de las 24 horas posteriores a la cosecha. El proceso se inicia desde la cosecha, seleccionando las raíces más adecuadas, evitando cualquier deterioro en su transporte. Las raíces son lavadas con agua para eliminar totalmente la tierra adherida; esta operación es indispensable para lograr una buena adherencia de la parafina. Luego del lavado, es conveniente realizar una desinfección de las raíces sumergiéndolas por tres minutos en una solución de tiabendazol al 0,001 por ciento. Posteriormente, son secadas al aire en lugar sombreado o utilizando secadores de aire o ventiladores para acelerar el secado y garantizar una adecuada adherencia de la parafina a las raíces. Las raíces secas se sumergen en un recipiente con parafina derretida a una temperatura entre 140-160 °C. Generalmente, la técnica de parafinado es manual; primero se introduce en el recipiente la mitad de la raíz hasta tres segundos, se espera que la película de parafina se enfríe sobre ella y se parafina luego la otra mitad. También se pueden usar canastillas similares a las utilizadas para inmersión en productos fritos. Esta operación es crítica, ya que la mala aplicación de la parafina, por exceso o por defecto, ya sea de tiempo o de temperatura, no solo invalida el proceso sino que puede aún acelerar el deterioro de las raíces. Inmediatamente después de sacar las raíces de la parafina se dejan secar en lugar sombreado o si se prefiere se pueden sumergir en agua fría con el fin de solidificar la parafina y refrigerar las raíces. El tiempo normal de conservación de las raíces parafinadas oscila entre 20-30 días (IIT, 1978).

Encerado

El encerado es una técnica por medio del cual se recubren las raíces de yuca con cera producida a partir de la resina de colofonia. Los recubrimientos céreos son comúnmente usados para la conservación de frutas lo que les da un brillo característico. Al igual que en la técnica de parafinado, para esta técnica es necesario seleccionar las raíces más adecuadas; esto es, raíces enteras con 2-3 cm de pedúnculo, sin golpes ni magulladuras. Es importante realizar una poda de las raicillas para dar una mejor presentación a la yuca final y facilitar el proceso de encerado. Las raíces son lavadas para eliminar toda la tierra adherida. Luego, si se desea se realiza una desinfección de las raíces sumergiéndolas por tres minutos en una solución de tiabendazol al 0,001 por ciento. Las raíces se colocan sobre estantes bajo sombra para que se sequen al aire libre, no más de dos horas. Si se desea agilizar el proceso se pueden usar secadores de aire o ventiladores. Las raíces deben estar completamente secas antes de encerarlas; no se debe encerar la yuca mojada porque la cera en lugar de dar un recubrimiento transparente presentará un color blancuzco.

Existen diferentes métodos de aplicar la cera: inmersión, frotación y aspersión. El más recomendado, hasta el momento, es la frotación ya que este método permite controlar el grosor de la película de cera, evitando pérdidas del producto y obtener mayor rendimiento (140 kg de yuca/1 L de cera). La cera se aplica pura, sin diluirla, a temperatura ambiente usando guantes plásticos, esparciéndola por la superficie de la raíz de yuca por frotación manual, evitando dejar partes sin cubrir. Las raíces enceradas se dejan secar de 10-20 minutos a temperatura ambiente bajo sombra y no se deben almacenar si la cera no ha secado completamente. Las raíces enceradas se pueden conservar por más de 20 días (Montoya, 2004).

El almacenamiento a *largo plazo* (4 semanas o más) permite el almacenamiento de las raíces por periodos prolongados. Las técnicas de conservación que permiten estas condiciones son la *refrigeración* y la *congelación*.

Refrigeración

Esta técnica consiste en almacenar las raíces de yuca en un cuarto frío a una temperatura entre 0-2 °C y una humedad relativa entre 85-90 por ciento. Las temperaturas bajas inhiben los procesos enzimáticos responsables del deterioro fisiológico, lo cual permite conservar las raíces en buenas condiciones. Para obtener resultados satisfactorios, el almacenamiento se debe hacer inmediatamente después de la cosecha. Antes de refrigerarlas, las raíces se seleccionan y se lavan para retirar impurezas y luego se tratan con un producto desinfectante. Si además se colocan en bolsas plásticas y están rodeadas de buenas condiciones de almacenamiento, su conservación se prolonga por más tiempo. Para la refrigeración se puede utilizar un refrigerador doméstico común en la cual las raíces de yuca permanecen en buenas condiciones por más de cuatro semanas (IIT, 1978).

Congelación

Esta técnica de conservación es muy efectiva puesto que permite evitar ambas clases de deterioro y el tiempo de almacenamiento puede ser mayor. Sin embargo, una de sus desventajas además del alto costo de los equipos es que en estas condiciones las raíces pueden variar de textura y calidad culinaria.

En algunos países se comercializan los trozos o astillas de yuca congelados, en bolsas de plástico y para su expendio los supermercados cuentan con facilidades para conservarla congelada. Algunas empresas los congelan precocidos para que el comprador final emplee menos tiempo en la preparación. Para su preparación, en primer lugar se seleccionan las raíces que se destinarán a la congelación realizando un primer control para comprobar el tipo de variedad, la diversidad o rango de tamaños, el grado de madurez, ausencia de deterioro, de daños físicos y de ataques de hongos, virus y bacterias; se deben utilizar variedades de bajo contenido de HCN y en la prueba de calidad culinaria el tiempo de cocción no debe pasar de 20 minutos. Una vez seleccionadas las raíces, se lavan con agua, se eliminan sus extremos distal y proximal y se cortan en secciones cilíndricas de 5-6 cm de altura, luego se retira la corteza o cáscara gruesa de cada cilindro de pulpa. Los cilindros se lavan con agua por segunda vez y después se sumergen en una solución desinfectante de hipoclorito de sodio a 10 ppm. Durante la desinfección se debe verificar permanentemente la aparición de algún color parduzco o pardeamiento en la pulpa de las raíces. Los cilindros se parten a lo largo en cuatro trozos o astillas y de cada uno de ellos se elimina la fibra o vena central. Las astillas se lavan nuevamente con agua y si se considera conveniente también pueden ser desinfectadas; sin embargo, para garantizar su calidad al consumidor final, se sumergen en una solución de sustancias preservantes como sorbato o eritorbato de potasio durante 20 minutos. Las astillas se dejan escurrir y luego se empaican, en condiciones asépticas, en bolsas de polietileno de baja densidad. Finalmente, se congelan rápidamente a -30 °C en sus empaques o si se prefiere primero se congelan, luego se empaican y se almacenan. Las astillas empaicadas se almacenan en cuartos fríos a una temperatura de -18 °C (Sánchez y Alonso, 2002).

Capítulo 5

Características del almidón de yuca

El almidón es quizás el polímero natural más importante que existe y es la mayor fuente de energía obtenida de varias plantas. Se encuentra en las semillas de cereales (maíz, trigo, arroz, sorgo), en tubérculos (papa), en raíces (yuca, batata, arrurruz), en semillas de leguminosas (frijoles, lentejas, guisantes), frutas (bananas y manzanas y tomates verdes), troncos (palma sagó) y hojas (tabaco).

El alto contenido de almidón de la yuca y su mayor proporción de amilosa, en comparación con otras fuentes de almidón, hace de este un importante cultivo industrial además de ser un cultivo alimenticio rico en calorías. El almidón de yuca es la segunda fuente de almidón en el mundo después del maíz, pero por delante de la papa y el trigo; se usa principalmente sin modificar, es decir como almidón nativo, pero también es usado modificado con diferentes tratamientos para mejorar sus propiedades de consistencia, viscosidad, estabilidad a cambios del pH y temperatura, gelificación, dispersión y de esta manera poder usarlo en diferentes aplicaciones industriales que requieren ciertas propiedades particulares.

COMPONENTES DEL ALMIDÓN

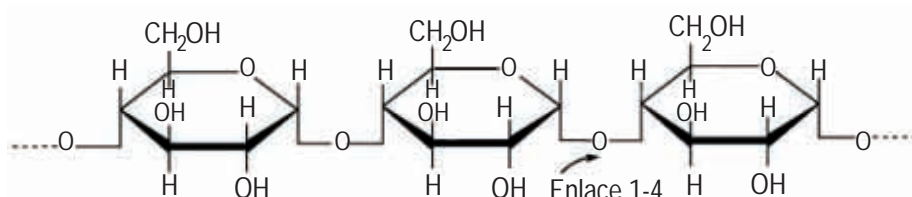
El almidón está constituido por unidades de glucosa dispuestas en dos componentes: amilosa y amilopectina; su proporción varía de un tipo a otro según sea su fuente. Estas macromoléculas se caracterizan por su grado de polimerización o ramificación lo cual afecta su comportamiento frente a los procesos de degradación.

El contenido de amilosa y el grado de polimerización -número total de residuos anhidroglucosa presentes dividido por el número de terminales reducidos- son importantes en la determinación de las propiedades físicas, químicas y funcionales del almidón. Por ejemplo, el tamaño de los gránulos del almidón muestra relación con la proporción amilosa/amilopectina (Delpeuch y Favier, 1980).

Amilosa

Es un polímero lineal que consta de moléculas de glucosa unidas por enlaces glucosídicos α -D-(1 \rightarrow 4), el número de unidades varía entre los diferentes tipos de almidones pero generalmente se encuentra entre 1 000 unidades de glucosa por molécula de amilosa y tiene forma de espiral. En un extremo de la macromolécula la unidad de glucosa contiene el hidroxilo del carbono anomérico (a) libre, por lo cual se llama extremo reductor (Aspinal, 1983). En el extremo opuesto, o no reductor, el hidroxilo del carbono anomérico forma parte del enlace glucosídico (Figura 7). La abundancia de hidroxilos

FIGURA 7
Esquema de la amilosa



otorga propiedades hidrofílicas al polímero, impartiendo afinidad por el agua. Sin embargo, debido a su linealidad, los polímeros de la amilosa tienden a agruparse muy estrechamente en forma paralela mediante la formación de puentes de hidrógeno entre los hidroxilos de los polímeros adyacentes reduciendo así su afinidad por el agua.

En soluciones diluidas, el tamaño de agregación de los polímeros se puede incrementar hasta el punto en que ocurre precipitación. En general, la estructura lineal de la amilosa favorece la formación de películas fuertes. Este fenómeno de asociación intermolecular entre las moléculas de amilosa es comúnmente llamado *retrogradación*.

La amilosa forma muchos complejos insolubles con un gran número de moléculas orgánicas como alcoholes alifáticos, ácidos monoglicéridos o ácidos grasos lineales; el complejo generalmente precipita cristalizándose lo que permite hacer la separación con la amilopectina. La amilosa tiene afinidad por el yodo y sus moléculas contienen segmentos hidrofílicos e hidrofóbicos. El color del complejo es característico de la amplitud de la cadena, azul para un grado de polimerización mayor de 40 y rojo, pardo o amarillo para un valor menor que este (Wurzburg, 1986).

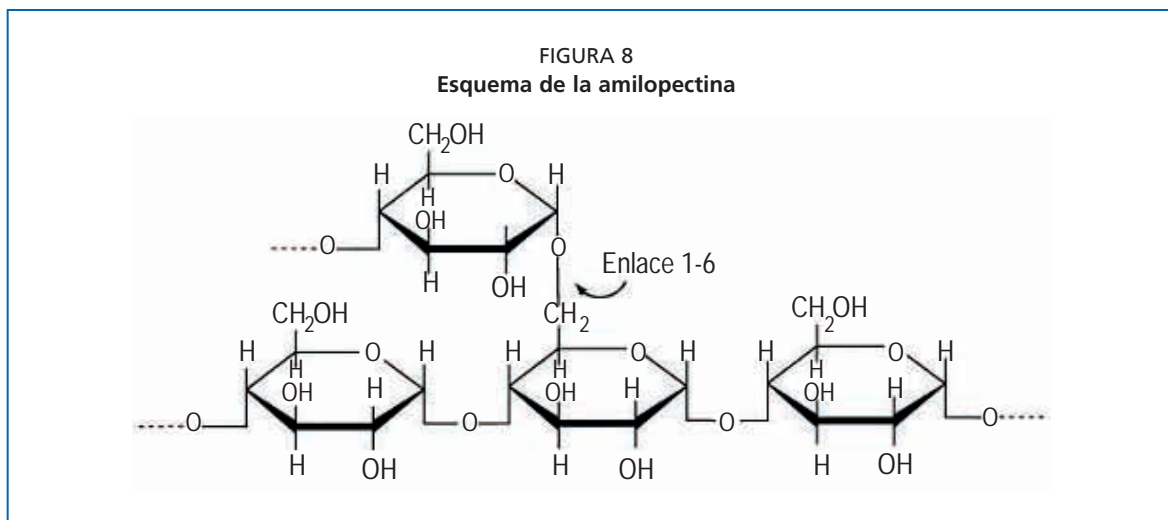
Amilopectina

Es un polímero ramificado formado por cadenas lineales constituidas por 15-35 moléculas de glucosa unidas por enlaces α -D-(1 \rightarrow 4). Estas cadenas están unidas entre ellas por enlaces α -D-(1 \rightarrow 6) que forman los puntos de ramificación (Figura 8). La amilopectina tiene 5-6 por ciento de enlaces α -D-(1 \rightarrow 6) y está constituida de alrededor de 100 000 moléculas de glucosa (Duprat *et al.*, 1980).

El gran tamaño y naturaleza ramificada de la amilopectina reduce la movilidad de los polímeros e interfiere su tendencia a orientarse muy estrechamente para permitir niveles significativos de enlaces de hidrógeno. Como resultado, los soles o soluciones acuosas de amilopectina se caracterizan por su claridad y estabilidad como medida de la resistencia a gelificarse durante el almacenamiento. Los soles de amilopectina no forman películas tan fuertes y flexibles como la amilosa y no forman un complejo con yodo asociado con su coloración azul profunda.

La amilopectina en sus estructuras lineales puede formar también complejos; pero como estas partes lineales son cortas, las hélices que se forman son cortas y solo se pueden introducir moléculas pequeñas dentro de ellas. La amilopectina puede formar complejos de color rosa con el yodo y no puede formar complejos con los ácidos grasos.

Las cadenas lineales de los dos polímeros pueden formar hélices con seis moléculas de glucosa por cada ciclo. En el caso de la amilopectina, los enlaces α -D-(1 \rightarrow 6) son



CUADRO 2

Propiedades de los componentes del almidón

Propiedad	Amilosa	Amilopectina
Estructura	Lineal	Ramificada
Longitud promedio de la cadena	Aprox. 1 000	20-25
Peso molecular	40 000 hasta 10 ⁶	200 000 hasta 10 ⁹
Grado de polimerización	Aprox. 1 000	10 000–100 000
En solución	Hélice extendida o enrollada	Esfera irregular
Estabilidad en soluciones acuosas	Retrógrada	Estable
Acomplejamiento	Con facilidad	Con dificultad
Retrogradación	Rápida	Muy lenta
Gel	Firme e irreversible	Suave y reversible
Formación de complejos	Favorable	Desfavorable
Patrón de rayos X	Cristalino	Amorfo
Digestibilidad de la β -amilasa	Casi completa	Cerca de 60 %
Reacción con yodo	19-20 %	5-9 %
Color con la solución de yodo	Azul profundo	Violeta
Longitud de onda máxima (nm)	Aprox. 660	530-550

Fuente: Skeist (1977) y Aspinal (1983).

puntos de ruptura para la formación de las hélices y únicamente pueden formarse hélices cortas con las partes lineales de la molécula. En cambio hélices constituidas de 120 moléculas de glucosa pueden formarse con la amilosa.

El nivel de amilosa encontrado en el almidón varía dependiendo del origen. Muchos almidones tales como del maíz común, trigo, papa y yuca contienen alrededor de 18-28 por ciento de amilosa; el maíz y el trigo están en el extremo alto del rango, mientras la papa y la yuca están en el extremo más bajo. El almidón de yuca tiene entre 17-22 por ciento de amilosa. La estructura y la cantidad relativa de ambos componentes del almidón juegan un papel importante en la determinación de las propiedades fisicoquímicas del almidón (Cuadro 2).

La organización intramolecular entre amilosa y amilopectina con enlaces hidrógeno entre los grupos alcohólicos, directamente o a través de moléculas de agua, conduce a la formación de zonas cristalinas (capas densas con un alto número de ramificaciones) y amorfas [(capas menos organizadas ricas en puntos de enlaces α -D-(1 \rightarrow 6)]. Esto da al almidón una estructura semicristalina, con propiedades específicas como la presencia de un cruce en el gránulo ante una observación con luz polarizada y la difracción de los rayos X con tres tipos de espectro que permiten diferenciar los almidones de cereales, raíces y tubérculos. Sin embargo, en esta clasificación hay algunas excepciones como la yuca que presenta un espectro similar al de los cereales.

PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL ALMIDÓN

Las propiedades fisicoquímicas son las que determinan el uso del almidón de yuca. Entre las propiedades fisicoquímicas más importantes encontramos la composición proximal (contenido de proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, cenizas y humedad), las características del gránulo (tamaño, color y forma, naturaleza cristalina), el peso molecular y el contenido de amilosa.

El contenido de proteínas del almidón de yuca y de papa es bajo, cerca del 0,1 por ciento, comparado con el de los almidones de arroz y de maíz (0,45 y 0,35 por ciento, respectivamente). La proteína residual afecta el sabor y olor de los almidones de cereales y tienden a formar espuma.

Los gránulos del almidón de papa y yuca contienen un pequeño porcentaje de lípidos, comparado con los almidones de cereales -maíz y arroz- los cuales contienen respectivamente 0,6 y 0,8 por ciento. Esta composición favorece al almidón de yuca, ya que estos lípidos forman un complejo con la amilosa, la cual tiende a reprimir el

CUADRO 3
Características de los gránulos de almidón

Almidón	Tipo	Morfología	Diámetro (µm)	Contenido de amilosa (%)	Temperatura de gelatinización (°C)	Temperatura de gelificación (°C)	Propiedades de cocción
Maíz	Cereal	Redondo poligonal	5-30	25	62-72	80	Gel opaco
Maíz ceroso	Cereal	Redondo poligonal	5-30	<1	63-72	74	Claro cohesivo
Yuca	Raíz	Ovalado truncado	4-35	17	62-73	63	Claro cohesivo tendencia a gelificar
Papa	Tubérculo	Ovalado esférico	5-100	20	59-68	64	Claro cohesivo tendencia a gelificar
Trigo	Cereal	Redondo lenticular	1-45	25	58-64	77	Gel opaco
Arroz	Cereal	Esférico poligonal	3-8	19	68-78	81	Gel opaco
Sago	Tronco	Ovalado truncado	15-65	26	69-74	74	Gel opaco

Fuente: Taggart (2004).

hinchamiento y la solubilización de los gránulos del almidón; por esta razón se necesitan temperaturas altas (> 125 °C) para romper la estructura amilosa-lípido y solubilizar la fracción de amilosa. La mayor parte de estos lípidos son liso-fosfolípidos; es decir una cadena de ácido graso esterificada con ácido fosfórico. La presencia de sustancias grasas puede crear problemas por la tendencia a la rancidez durante el almacenamiento (Hurtado, 1997).

Los gránulos del almidón de yuca no son uniformes en tamaño y forma: son redondos con terminales truncados, un núcleo bien definido y su tamaño varía entre 4-35 mm con un promedio de 20 mm. Los gránulos de los almidones de arroz, maíz y maíz ceroso tienen forma poliédrica, mientras que los gránulos del almidón de papa son ovoides y presentan los gránulos de mayor tamaño 5-100 mm, con un promedio de 33 mm. El tamaño de los gránulos de maíz y maíz ceroso es de 5-30 mm, con un promedio de 15 mm, similar al de los gránulos del almidón de yuca. Los gránulos más pequeños son del arroz, los cuales varían de 3-8 mm, son considerados como los más resistentes a procesos con altas temperaturas como la esterilización y poseen mayor digestibilidad. El Cuadro 3 muestra la comparación de algunas propiedades fisicoquímicas de varios almidones. En algunos almidones, el tamaño de los gránulos de almidón muestra relación con su proporción amilosa/amilopectina (Delpeuch y Favier, 1980).

Los patrones de difracción a los rayos X de los gránulos de almidón nativo de yuca son de tipo intermedio (tipo C), entre los patrones característicos de los almidones de los cereales (tipo A) y los almidones de frutas y tubérculos (tipo B). El nivel de cristalización en el almidón de yuca es de alrededor de 38 por ciento. La cristalinidad del gránulo se debe esencialmente a la amilopectina (Richard *et al.*, 1991).

PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDÓN

Las propiedades funcionales de los almidones dependen directamente de la relación amilosa/amilopectina. En los distintos cultivos amiláceos esta relación es constante, si bien cambia de una variedad a otra dentro de la especie y también entre plantas de la misma variedad.

Para apreciar el potencial del uso industrial y alimenticio del almidón de yuca es fundamental comprender las propiedades funcionales del almidón. Estas propiedades están influenciadas por factores genéticos (diferencias varietales) y por factores como la edad de la planta, la época de cosecha, la fertilidad del suelo y la precipitación, entre otras cosas.

Las características funcionales de los almidones son: solubilidad, capacidad de retención de agua, poder de hinchamiento, tendencia a retrogradar, propiedades de la pasta (viscosidad, consistencia, estabilidad del gel, claridad y resistencia al corte, formación de película), digestibilidad enzimática y capacidad de emulsificación.

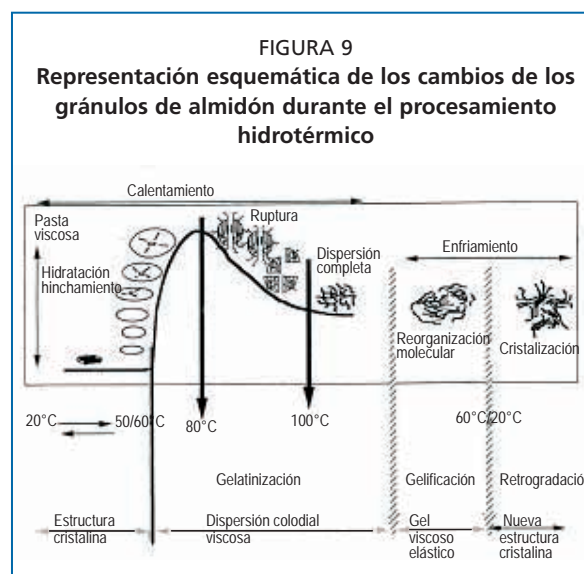
Durante un tratamiento hidrotérmico, el almidón sufre una serie de modificaciones que van a influir sobre su estructura, pasando por tres fases importantes: gelatinización, gelificación y retrogradación, los cuales causan hinchamiento, hidratación, fusión y ruptura de los gránulos de almidón (Figura 9).

Gelatinización

En una primera fase el agua se difunde por las zonas amorfas del gránulo de almidón, produciéndose un primer hinchamiento que es reversible. Durante esta etapa de cocción, la amilosa se solubiliza y el almidón sufre una dispersión coloidal constituida por una fase continua o disolvente que se enriquece en amilosa y una fase dispersa de gránulos de almidón hinchados y enriquecidos en amilopectina. En esta etapa, los gránulos conservan sus propiedades ópticas incluyendo la capacidad de refractar la luz polarizada (birrefringencia), la cual está asociada a la alineación de las moléculas dentro del gránulo. Se ha observado que los gránulos de almidón de yuca tienen baja birrefringencia a temperaturas entre 58-64 °C, comparados con los gránulos de maíz que la poseen a temperaturas entre 62-68 °C.

Si el calentamiento continúa, las moléculas de agua alrededor de los gránulos rompen los enlaces de hidrógeno en el interior de los gránulos, estos absorben agua lentamente y se hinchan. Este proceso es irreversible y ocurre después de que se alcanza una temperatura crítica que depende de la humedad presente, definida como la temperatura de transición vítrea T_g (Temperatura de gelatinización) la cual es característica de cada almidón, pero también depende de la concentración de la suspensión. Cuando la molécula de almidón está completamente hidratada empieza a expandirse -se abre la hélice de la cadena- primero hacia el extremo externo y la cadena lineal más corta (amilosa) tiende a difundirse. Alcanzada esta temperatura se incrementa el hinchamiento y la birrefringencia desaparece; este fenómeno endotérmico se denomina *gelatinización* (Waniska y Gómez, 1992). La gelatinización ocurre en un intervalo de temperatura muy limitado, produce el hinchamiento del gránulo y la solubilización parcial de los polímeros, fenómenos que inducen la aparición de propiedades viscoelásticas las cuales se generan en un amplio intervalo de temperatura.

La absorción de agua y el aumento de volumen van acompañados de un fuerte aumento de la viscosidad hasta llegar a un máximo llamado *pico de viscosidad*, en el cual el gránulo se rompe y ocurre una difusión de amilosa y amilopectina, generándose una mezcla de gránulos hinchados ricos en amilopectina, gránulos fundidos hidratados y moléculas disueltas de amilosa (Howling, 1980). La máxima viscosidad es el resultado del máximo hinchamiento, formándose una dispersión en medio acuoso, la cual es llamada pasta o engrudo. Cuando la temperatura de una suspensión acuosa de almidón es superior a la temperatura de gelatinización, los enlaces de hidrógeno se continúan destruyendo, las moléculas de agua empiezan a anexarse a los hidroxilos liberados y los gránulos se continúan hinchando. Como resultado directo del hinchamiento de los gránulos hay un incremento de la solubilidad del almidón.



Gelificación y retrogradación

Durante la etapa de enfriamiento se distinguen dos etapas, la gelificación y la retrogradación. En la *gelificación* las moléculas de almidón se vuelven menos solubles y tienden a agregarse. La *retrogradación* es la cristalización de las cadenas de los polímeros que son agregados en el gel, cuando las pastas de los almidones son enfriadas y ocurre en tres estados: a) dilatación de las cadenas debido al rompimiento de los enlaces intermoleculares que mantienen la configuración helicoidal, b) pérdida del límite de agua seguido de una reorientación de las moléculas y, finalmente c) una formación de enlaces de hidrogeno entre moléculas adyacentes formando una estructura cristalina (Mestres, 1996). Esta cristalización va a endurecer el gel y acarrear el fenómeno de sinéresis, es decir, la expulsión de una parte del disolvente fuera del gel que produce una caída de la viscosidad. El grado de retrogradación es afectado por la concentración de amilosa y amilopectina, tamaño molecular, temperatura, pH y los componentes diferentes al almidón presentes en el medio. Es favorecido por bajos pH, aunque a valores de $\text{pH} < 3$ la cantidad de material precipitado disminuye debido a la hidrólisis del almidón.

La estructura de amilosa permite la formación de muchos sitios de enlace entre moléculas adjuntas por lo cual la retrogradación es asociada en gran parte con la fracción de amilosa, adicionado a su alto peso molecular. Altas concentraciones de amilosa implican formación de geles fuertes, opacos y que sufren sinéresis. Bajas proporciones de amilosa generan dispersiones claras y viscosas que no gelifican.

Comportamiento de diferentes almidones

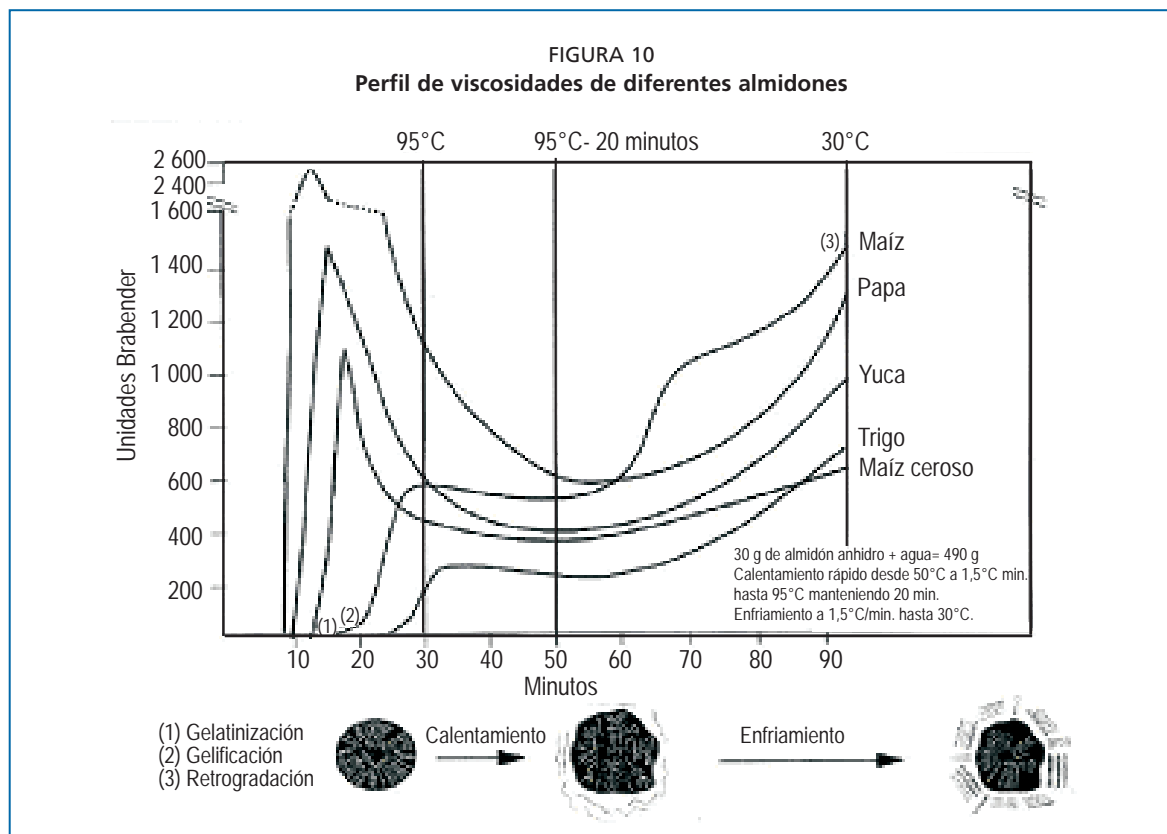
El almidón de los tubérculos y las raíces presenta un fuerte elevamiento de viscosidad durante el cocimiento, mucho mayor que el de los cereales. Los gránulos de almidón de papa, yuca y maíz ceroso presentan picos de viscosidad más altos que los de maíz y trigo. Esto es debido a que los almidones de papa, yuca y maíz ceroso tienen mayor capacidad de absorción de agua, mayor velocidad de hidratación y se desintegran más rápidamente. La Figura 10 muestra las curvas de viscosidad de diferentes almidones nativos generadas por un viscógrafo. Los valores de viscosidad pueden variar con la temperatura, velocidad y concentración de la solución de almidón utilizada en el viscógrafo.

El *almidón de maíz* muestra un rápido incremento de la viscosidad después de la gelatinización, hasta llegar a un punto máximo. La viscosidad disminuirá gradualmente durante el periodo de mantenimiento de la temperatura y posteriormente tendrá un incremento muy fuerte mientras la pasta se enfría y retrograda.

El *almidón de maíz ceroso* prácticamente no tiene moléculas lineales de amilosa, es altamente estable y resistente a la retrogradación; al contrario, los almidones con alto contenido de amilosa tienen una retrogradación muy rápida. Su pasta permanecerá fluida y clara e incrementará su viscosidad más rápidamente que el maíz regular, su viscosidad máxima será mayor y se obtendrá más rápidamente produciendo pastas con poco cuerpo y muy cohesivas. El rompimiento será más rápido y acentuado. En el enfriamiento se presenta un ligero aumento en la viscosidad ya que no gelifica ni presenta sinéresis.

El *almidón de papa* absorbe más agua mostrando un máximo inicial mayor. Su temperatura de gelatinización es menor, debido a que los grupos éster-fosfato presentes en el gránulo de papa tienden a debilitar los enlaces provocando un espesamiento más rápido al calentarse. El máximo pico de viscosidad cae rápidamente durante el mantenimiento de la temperatura. La solución muestra poca tendencia a retrogradarse durante el enfriamiento (Waniska et al., 1992).

El *almidón de yuca* gelatiniza a la misma temperatura del almidón de maíz y del almidón de maíz ceroso, a temperaturas relativamente bajas (62-73 °C); el pico máximo es alcanzado rápidamente, lo que implica que es un almidón fácil de cocinar y requiere



Fuente: Taggart (2004).

menor consumo de energía durante su cocción. Además, tiene una tendencia baja a la retrogradación y produce un gel de mayor claridad y estabilidad en comparación con el de otros almidones nativos (Whistler, 1984). Su temperatura de gelatinización (63 °C) es similar a la del almidón de papa, pero está por debajo de las temperaturas de gelatinización de los cereales (74-81 °C). Aunque la viscosidad de la pasta es inicialmente alta, esta decae bruscamente con agitación continuada por encima de 90 °C y con un subsecuente enfriamiento no hay formación de gel.

Este comportamiento del almidón de yuca lo hace tecnológicamente conveniente como sustrato para procesos hidrolíticos pero inapropiado como sustituto para los almidones de cereales en procesos que requieren retrogradación. Las propiedades de claridad y baja retrogradación del almidón de yuca pueden ser utilizadas en muchos productos alimenticios. Sus características reológicas se asemejan bastante al almidón del maíz ceroso. Las pastas de almidón de yuca son estables a medios ácidos por debajo de pH 2,4, medio en el cual hay destrucción del gránulo y del aspecto físico de la pasta debido a una hidrólisis parcial o total. La pasta de almidón de yuca ha sido considerada resistente al proceso de congelación, lo que disminuye generalmente la exudación de agua o sinéresis y deteriora la estructura de la pasta (Hurtado, 1997).

Si un almidón muestra un alto poder de hinchamiento y alta solubilidad esto refleja la baja fuerza de asociación en los gránulos. El poder de hinchamiento de los almidones de cereales es más limitado que el que se observa para los almidones de tubérculos. La capacidad de absorción de agua depende directamente del tipo de almidón, lo que es mayor en almidones de tubérculos que con almidones de cereales, pero también depende de factores como el contenido de amilopectina, el tamaño y la forma de los gránulos. La solubilidad del almidón de yuca es alta, similar al del almidón de papa mientras que en los almidones de cereales se reduce debido a la presencia de lípidos.

Capítulo 6

Almidones modificados

Los almidones nativos, incluyendo el almidón de yuca, presentan ciertas limitaciones para uso industrial. Por lo tanto, son modificados para mejorar sus propiedades funcionales y tener un amplio rango de aplicaciones industriales. Los productos resultantes o almidones modificados son, consecuentemente, productos de mayor valor agregado.

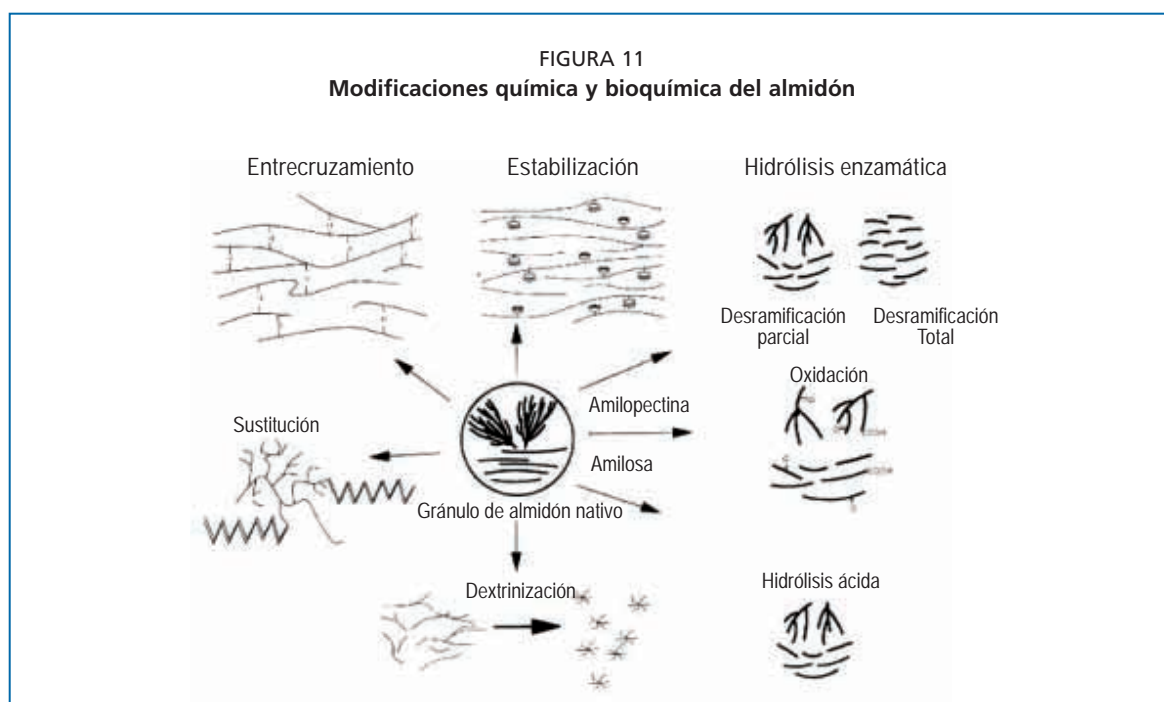
Los gránulos de almidón son tratados química, física y bioquímicamente para causar la ruptura de algunas o todas las moléculas (Figura 11). La modificación del almidón permite realzar o inhibir propiedades como consistencia, poder aglutinante, estabilidad a cambios en el pH y temperatura y mejorar su gelificación, dispersión o fluidez. 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).

Degradación

Son procesos que involucran depolimerización parcial o arreglos de moléculas. Estos incluyen procesos hidrolíticos, oxidativos y térmicos, los cuales producen tres clases de almidones modificados: de conversión ácida, oxidados y dextrinas. El principal propósito de la conversión es reducir la viscosidad de los productos para que con altas concentraciones la solución tenga buenas propiedades de flujo.

Hidrólisis de almidón

Las posibilidades van desde la hidrólisis parcial hasta la total con presencia o no de catalizadores.



Fuente: Taggart (2004).

- *Hidrólisis parcial*. Se obtienen almidones de baja solubilidad en agua fría y alta solubilidad en agua caliente, dando geles de baja viscosidad utilizados en la industria alimenticia como espesantes, o para dotar a los alimentos de una película protectora.
- *Hidrólisis parcial con ácidos*. Se efectúa preferentemente sobre la amilopectina y permite obtener productos que se disuelven y gelifican mejor dando una menor viscosidad. Se emplean como estabilizantes y en la preparación de jaleas.
- *Hidrólisis total, ácida o enzimática*. Se produce glucosa o dextrosa. Cuando la reacción se completa, la suspensión se neutraliza, filtra y concentra para cristalizar la dextrosa. Los jarabes de glucosa obtenidos son muy empleados en la industria de bebidas.

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:

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.

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).

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 la algunas enzimas (Vian, 1994).

Oxidación

Por reacción del almidón con hipoclorito en medio alcalino, se producen simultáneamente reacciones de oxidación e hidrólisis que rompen los enlaces glucosídicos del almidón. Se utilizan en la preparación de salsas y mayonesas y tienen una pequeña participación en el mercado del encolado. No retrogradan ni gelifican. Este tipo de almidones se utilizan como repelentes de agua para los productos comestibles que exhiben higroscopicidad, para la preparación de gelatinas y para productos enlatados. Los almidones oxidados junto con el isoxalato de sodio produce un producto químico adecuado para el tratamiento del cuero y, junto con bórax, son usados en lodos de perforación.

Pregelatinización

Los almidones pregelatinizados son útiles cuando se requiere que el producto pueda ser reconstituido en agua fría. La estructura del gránulo de almidón se rompe por cocción del almidón nativo y posterior secado en tambores rotatorios o por extrusión semiseca lo que permite su empleo en alimentos de preparación rápida, flanes, rellenos y salsas. En adhesivos se utiliza para laminar papel aluminio a papel o cartón, pero su secado es lento dado su bajo contenido de sólidos.

Derivatización

Las modificaciones químicas no degradativas involucran la introducción de pequeñas cantidades de grupos sustituyentes dentro del almidón por enlaces éster y éter; esto genera el debilitamiento de los gránulos de almidón, estabiliza las dispersiones y previene el alineamiento y retrogradación de las moléculas. La cantidad de grupos sustituyentes se determina generalmente por análisis y se registra como número de grupos por unidad de glucosa anhidra o como grado de sustitución (DS).

Esterificación

Los almidones pueden ser esterificados usando diferentes tipos de ácidos inorgánicos y orgánicos. Nitro-almidones, utilizados como explosivos se obtienen con el ácido nítrico (HNO_3). Con ácidos fosfóricos y fosfatos alcalinos y con los ácidos acético, succínico, adípico, cítrico o con derivados como el acetato de vinilo se obtiene un variado número de ésteres de almidón. Estos tienen una más baja temperatura de gelatinización y aumentan la velocidad de hinchamiento y la viscosidad de la pasta. Estos almidones tienen buena capacidad espesante y son muy estables en frío, con buenas propiedades de retención de agua a baja temperatura que los hace útiles en el campo de productos ultracongelados o congelados.

Los almidones modificados tienen una alta gama de aplicaciones a nivel industrial, las cuales se derivan de las propiedades físicoquímicas de los gránulos de almidón tras su transformación por diferentes tratamientos. Los principales almidones modificados y sus aplicaciones se resumen a continuación (Vian, 1994).

Eterificación

Una de las reacciones de eterificación más conocidas es la que se realiza con los óxidos de etileno o de propileno de la que se obtiene «almidón hidroxietílico» o «almidón hidroxipropílico». Los productos eterificados gelifican establemente en forma sólida (rígida). Se usan como estabilizantes y espesantes en la industria textil, de papel y cartón y en la alimentación para preparar conservas y congelados. En la industria del papel se utilizan como adhesivos corrugantes aprovechando su alta capacidad de retención de agua.

Entrecruzamiento

Los almidones entrecruzados se obtienen por reacción con moléculas bifuncionales como la epíclorhidrina, el oxícloruro de fósforo o anhídridos mixtos de ácidos orgánicos. Por esta ruta pueden obtenerse productos con cadenas entrecruzadas, más estables y de gran resistencia, con escasa tendencia al hinchamiento. Son de especial interés para alimentos congelados, sobre todo si el tratamiento se combina con esterificación. Además son usados en la industria de alimentos, particularmente en panificación para dar estructura y disminuir la actividad de agua de la masa con lo cual aumenta la vida útil del producto final y se produce un mayor rendimiento en el batido.

Almidones catiónicos

Se obtienen por reacción con cloruro de 2-diaminoetilo, que permite introducir grupos amino terciarios en la molécula de almidón. Son susceptibles de cargarse positivamente al dispersar el producto en agua. Se utilizan en la fabricación de papel, incorporándolos durante la desfibración de la celulosa, ya que al ser absorbidos favorecen el proceso y dan mayor resistencia al papel. Son productos más viscosos que el almidón, transmiten mejor la luz y sus dispersiones tienen menor tendencia a la retrogradación.

USOS DEL ALMIDÓN EN PRODUCTOS ALIMENTARIOS Y NO ALIMENTARIOS

El almidón y los productos de almidón son usados en variedad de formas tanto en la industria de alimentos como en la no alimentaria. En la alimentación, se usa como ingrediente de diferentes preparados y en la industria no alimentaria como materia prima básica o producto auxiliar para la elaboración de una amplia gama de productos. El consumo de almidón se destina aproximadamente 75 por ciento al sector industrial y el 25 por ciento al sector de alimentos. La industria de fabricación de papel y cartón usan cerca del 80 por ciento del almidón suministrado al sector industrial, seguido de textiles, adhesivos y otras industrias (IFAD y FAO, 2004).

Uso en productos alimentarios

En la industria de alimentos el almidón, tanto nativo como modificado, tiene un papel importante en la textura de varios preparados al aportar palatabilidad y aceptabilidad.

- Como medio de moldeo, para caramelos de frutas, rodajas de naranja y gomas de mascar.
- Como dador de cuerpo, imparte textura y estabilidad a caramelos y marmadelos.
- Como agente para espolvorear, combinado con azúcar pulverizada en gomas, caramelos y gomas de mascar.
- Como protector contra la humedad, de diversos productos en polvo -como azúcares- pues los almidones absorben humedad sin apelmazarse.
- Como espesante, da cuerpo y textura al alimento preparado; para sopas, alimentos para infantes, salsas, gelatinas sintéticas.
- Como agente coloidal, imparte textura, sabor y apariencia. La cocción del almidón produce una solución coloidal estable, compatible con otros ingredientes en productos alimenticios.
- Como aglutinante, para el ligamento de componentes. En la preparación de salchichas y embutidos cocidos.
- Como emulsificante, produce una emulsión estable en la preparación de mayonesas y salsas similares.
- Como estabilizador, por su elevada capacidad de retención de agua es usado en productos mantecados-helados.
- En la mezcla con harinas para bajar el contenido de proteínas y la fuerza del gluten en panaderías. En la fabricación de galletas para aumentar su propiedad de extenderse y crujir, además de ablandar la textura, aumentar el sabor y evitar que se pegue.
- En la preparación de bocadillos extruídos y expandidos.

Industria de edulcorantes

Dado que el almidón es un polímero formado por miles de unidades de glucosa su rotura produce glucosa como producto final. Los hidrolizados comerciales de almidón son clasificados de acuerdo al equivalente de dextrosa (DE) de los jarabes. Las maltodextrinas tienen un equivalente de dextrosa menor de 20. Los jarabes que tienen equivalentes de dextrosa entre 30-38 contienen principalmente dextrinas lineales y ramificadas de alto peso molecular. Los jarabes de alta conversión contienen 75-85 por ciento de unidades de glucosa, maltosa y maltotriosa. Pueden obtenerse maltodextrinas, jarabes de glucosa, dextrosa y fructosa cristalina y jarabes de alta fructosa. Cada uno de estos jarabes tiene sus propias características y aplicaciones.

Las maltodextrinas son usadas en gran variedad de alimentos, incluyendo mezclas secas para sopas y frutas saborizadas, bebidas lácteas, helados y mezclas para tortas. Se usan como sustitutos de grasa y encapsulantes de aroma y sabor.

Los jarabes de glucosa son usados principalmente en confitería y también para elaborar salsas enlatadas, jugos de tomate, dulces y encurtidos. Además son usados en la industria de adhesivos y en fundición y son la materia prima para la manufactura de alcohol, bebidas alcohólicas (cerveza, güisqui, vodka), ácido acético, acetona, jarabe de fructosa, glutamato monosódico; de ácidos carboxílicos tales como ácido cítrico, láctico, butírico, succínico, glutámico, glucónico y propiónico, entre otros, y de carbohidratos hidrogenados como sorbitol y manitol, el primero de ellos usado en la producción de vitamina C y como base de alimentos para diabéticos y el segundo usado como endulzante con bajo contenido de calorías.

La dextrosa es usada en la industria de alimentos panificados y sirve como azúcar fermentable y también contribuye a realzar el sabor y aroma y a dar el color de la corteza. En confitería, la dextrosa evita la cristalización de la sacarosa y disminuye la higroscopicidad del producto terminado. En la industria láctea, es usada en postres

congelados para controlar la excesiva dulzura y mejorar el sabor. En la industria farmacéutica, es usada en la producción de tabletas y en la formulación de líquidos intravenosos.

Los jarabes de alta fructosa, han desplazado en su mayoría a los jarabes de glucosa en la industria de bebidas no alcohólicas y son usados en la fabricación de bebidas carbonatadas y no carbonatadas. Su función es producir dulzura a bajos niveles y también balancear los sabores y ácidos para dar un producto aceptable. Son también usados en la elaboración de frutas en conserva, mermeladas y gelatinas y en la industria de panificación.

Los jarabes sólidos obtenidos por evaporación de los jarabes de hidrolizados de almidón son ampliamente usados en alimentos dietéticos debido a sus bajo valor calórico.

Uso en productos no alimentarios

En las industrias no alimentarias el almidón nativo y modificado son usados principalmente como:

- Adhesivo, para diferentes aplicaciones en la industria de papel y cartón.
- Apresto, en la industria textil como encolante de la urdimbre previo al proceso de tejido.
- Agente inerte, como excipiente, vehículo y elemento adhesivo de tabletas y productos medicinales.
- Espolvorante, como polvo fino en la preparación de cosméticos, germicidas, insecticidas y productos medicinales.
- Absorbente, en la preparación de jabones y detergentes para aumentar su efectividad y poder de limpieza.
- Aditivo de sedimentación, para recuperar sólidos en procesos de flotación y clarificación en la refinación de metales.
- Aglutinante, para formar moldes de arena en la industria de fundición y como ligante para formar aglomerados de polvos finos como las briquetas de carbón y en la elaboración de explosivos.
- Dispersante, para mejorar la dispersión y la estabilidad a alta temperatura de los fluidos utilizados en los taladros para la perforación pozos de petróleo o de agua; mejoran la viscosidad del lodo y la capacidad de retención de agua.
- Movilizante, como vehículo móvil en tintas de impresión.
- Diluyente, en la industria de colorantes para estandarizar las tinturas con respecto a los rangos de colores.
- Conservante, en la industria de artes gráficas en forma de adhesivo, el cual se aplica a las planchas de impresión litográfica para conservar la parte que no lleva imagen y protegerla de bacterias, corrosión o rayado.

Industria de papel y cartón

La industria de papel y cartón consume almidones con diversos tipos de modificación; el tipo varía en cada empresa de acuerdo a diversos factores entre los cuales se destacan: el tipo de aplicación, el tipo de papel producido, las condiciones de operación y tipo de maquinaria y los costos, entre otras. Esta industria exige tres características básicas en el almidón: blancura, bajo contenido de fibra y pocas impurezas. El almidón se usa en esta industria en varias formas:

- Como pegamento en masa o interno, su función es servir como aglomerante de los componentes que forman el papel, fibra celulósica y rellenos, formando una capa superficial que reduce la pelusa y aumenta la resistencia mecánica del papel a la aspereza y plegado, aumenta la solidez y la durabilidad del papel.
- En la prensa de encolado, el almidón -generalmente oxidado o modificado- se suele añadir a uno o ambos lados de la hoja de papel o cartón que se ha formado

y secado parcialmente para dar una textura lisa, mejorar su apariencia, evitar el desprendimiento superficial de fibras, impedir que la tinta se despegue en escritura o impresión, mejorar la resistencia a la humedad, dar opacidad al papel en el caso de los papeles blancos y prepararlo para un posterior recubrimiento como esmaltados u otros acabados.

- En la operación de revestimiento, cuando se necesita un revestimiento de pigmento para el papel, el almidón actúa como agente de revestimiento y como adhesivo.

En las empresas productoras de cartón corrugado se usa generalmente almidón nativo que en el transcurso de la operación es modificado con soda (almidón *carrier*) y mezclado posteriormente con almidón nativo. Este almidón sirve para la formación del cartón ya que permite unir las láminas planas de cartón a la lámina corrugada u ondulada.

Industria textil

En la industria textil los almidones se usan en las operaciones como encolado de la urdimbre, aprestado y estampado de tejidos. El colante o apresto se elabora con almidones eterificados y un lubricante. Se usa generalmente para fibras de algodón; mientras que para poliéster y acrílicos se requieren aprestos sintéticos.

El tejido puede engomarse de manera temporal o permanente:

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

El almidón también es usado para el estampado de tejidos o para producir diseños en varios colores sobre la superficie lisa de un tejido acabado. Además se usa en lavandería para almidonar tejidos blancos y darles dureza y para restaurar apariencia y cuerpo a las prendas de vestir.

Industria de adhesivos

El almidón y algunos almidones modificados se usan para la elaboración de adhesivos para diversas aplicaciones en la industria de papel y cartón, ya sea para adhesivos de alta fuerza adhesiva o para colas de menor precio. Estos se emplean para el laminado de ciertos papeles, cerrado de cajas de cartón, fabricación de materiales de embalaje, papel de envoltura y cinta rehumedecibles, para el pegado de etiquetas sobre vidrio y enlatados, formación de sacos multipliegos de papel y bolsas de papel, elaboración de sobres. También son usados en la encuadernación de libros, sellado de cajas de cartón, pegado de papel de cigarrillos, fabricación de fósforos y cajas de fósforos.

Los adhesivos de almidón, que son adhesivos a base agua, son muy útiles para las empacadoras y etiquetadoras de alta velocidad por el costo relativamente bajo y la gran velocidad de adhesión.

Industria farmacéutica y cosmética

El almidón y algunos almidones modificados son ampliamente usados en la fabricación de píldoras o tabletas, en las cuales cumplen dos funciones: como agente de dispersión de polvo y como ligante del ingrediente activo de la tableta. Cuando esta es ingerida, el almidón absorbe rápidamente la humedad y se hincha causando un estrés interno al interior de la tableta el cual se desintegra y libera el ingrediente activo.

En la industria cosmética, se emplea en la fabricación de polvos faciales finos, polvos compactos y polvos nutritivos. También actúa como absorbente, mejorador de viscosidad y como vehículo para sustancias pastosas, líquidas o semisólidas en la elaboración de cremas y lociones de uso dermatológico (Balagopalan *et al.*, 1988).

Otras aplicaciones

El almidón puede ser utilizado también para la elaboración de los siguientes productos:

- Surfactantes orgánicos, tales como las alquilpoliglucosidasas las cuales se acogen a las nuevas tendencias de producción limpia en el uso de detergentes naturales y biodegradables en reemplazo de los surfactantes clásicos no iónicos. Se usan a la vez como activadores de blanqueo y en la producción de champús secos.
- Productos de fermentación, tales como eritritol, ácido glucónico e itacónico; aminoácidos como la lisina; enzimas tales como carbohidrasas y proteasas; antibióticos como tetraciclina y penicilina y vitamina como la B-12.
- Los complejos de amilosa con ácidos grasos libres, monoglicéridos o lisofosfolípidos tienen un uso potencial en productos de panificación ya que limitan la velocidad de fortalecimiento de la miga del pan. Algunos estudios han demostrado que estos complejos evitan la cristalización de la amilopectina, hecho que origina el endurecimiento del pan.
- Copolímeros de almidón por injerto; estos productos son obtenidos de mezclas de almidón como poliéster o acrilatos los cuales son usados como espesantes en sistemas acuosos, floculantes y clarificación de aguas residuales.
- Matrices de almidón, para encapsular materiales contaminantes que les permita tener mayor vida y una manipulación segura.
- Almidones hidocoloides con los que es posible concentrar una solución de goma hidrosoluble más de lo que es posible hacerlo por dispersión directa en el agua. Es posible preparar mezclas de estos almidones con propiedades reológicas muy diversas.
- Aspersores usados en horticultura; generalmente se usan dextrinas para ayudar a disolver el material y adherirlo al área tratada, aun después que la solución se ha evaporado.
- Almidones resistentes, es decir indigeribles por las glucosidasas humanas, los cuales favorecen el crecimiento de microorganismos benéficos para el colon, disminuyendo los riesgos de cáncer.
- Almidones como agente de barrera, utilizados para evitar la pérdida de líquidos o la absorción de grasa. La tecnología de barrera mejora sustancialmente los indicadores de aceptación de los productos tales como frituras y tecnologías de cocción de carnes.

Capítulo 7

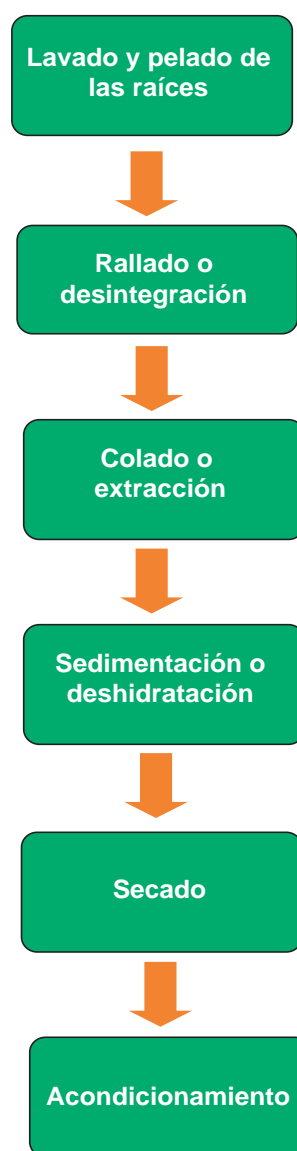
Extracción del almidón de yuca

La extracción del almidón de yuca es un proceso más simple y sencillo que la extracción de almidón de maíz, trigo u otros cereales. La industria del almidón de yuca es de importancia considerando el hecho de que aproximadamente el 85 por ciento de los almidones exportados por los países en desarrollo son almidón de yuca si bien el porcentaje de su producción en relación con la producción mundial de almidón es únicamente del ocho por ciento (Balagopalan y Padmaja, 1988). Los principios de la extracción del almidón de yuca se aplican en todas las tecnologías, aunque varían dependiendo de los equipos utilizados. Se encuentran procesos de manufactura artesanal, otros medianamente mecanizados y otras tecnologías modernas que mecanizan todas las etapas del proceso de manera eficiente. Al pasar de una tecnología media a una más evolucionada aumenta el nivel de extracción de almidón lo cual mejora notablemente la rentabilidad del proceso.

La manufactura de almidón de yuca comprende básicamente las siguientes etapas (Figura 12):

- *Recepción de las raíces:* 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.
- *Lavado y pelado de las raíces:* en esta etapa se elimina la tierra y las impurezas adheridas a las raíces. La cascarilla 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.
- *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

FIGURA 12
Diagrama de flujo para la obtención de almidón de yuca



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).

- *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.
- *Sedimentación o deshidratación:* se realiza por medio de sedimentación o centrifugación, para separar los gránulos de almidón de su suspensión en agua.
- *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.
- *Acondicionamiento:* comprende las etapas de molienda, tamizado y empaque.

MANUFACTURA DE ALMIDÓN A ESCALA ARTESANAL

El proceso es realizado casi completamente de forma manual con el uso de herramientas de mano y generalmente es hecho por grupos que emplean gran número de personas de la familia campesina lo que significa una fuente de ingreso para la comunidad. La producción varía entre 50-60 kg de almidón por persona/día. La eficiencia de la extracción es alrededor de 17-20 por ciento, es decir una relación de peso de raíces frescas: almidón de 6-5:1.

La operación de lavado es realizada con las manos o en algunas ocasiones con los pies (Lámina 14). El pelado de las raíces se realiza de forma manual, usando cuchillos para despojar la cascarilla o en algunos casos la corteza interior o cáscara (Lámina 15).

El rallado de las raíces se realiza en un rallador que puede ser una lata perforada estacionaria o un cilindro de acero perforado (Lámina 16). La pulpa obtenida es depositada sobre una tela que cuelga o está fija a un marco de madera debajo un depósito o tanque; el colado se realiza manualmente lavando con agua y exprimiendo



PDAR-CIAT

Lámina 14
Lavado de la yuca con los pies



PDAR-CIAT

Lámina 15
Pelado manual de raíces de yuca

la pulpa mientras la lechada de almidón es recolectada en el depósito (Lámina 17). El rendimiento obtenido manualmente depende de la variedad de yuca, del tipo de rallado empleado, del número de personas que intervienen en la operación y de su destreza.

Cuando los gránulos del almidón se han depositado, se retira el agua sobrenadante y la torta de almidón es desmenuzada para facilitar su secado. La etapa de secado se realiza al sol, depositando el almidón sobre techos de láminas de zinc (Lámina 18) o sobre esteras forradas con plástico negro, soportadas en estructuras de madera o guadua (Lámina 19). El almidón debe ser removido continuamente para hacer más eficiente el secado.

MANUFACTURA DE ALMIDÓN A MEDIANA ESCALA: SEMIMECANIZADA

La extracción de almidón a mediana escala procesa cerca de 1-10 toneladas de almidón por día. El rendimiento del proceso de extracción varía entre 17-25 por ciento, lo que corresponde a una relación de peso de raíces frescas: almidón de 6-4:1, dependiendo de la eficiencia de los equipos utilizados.

Las operaciones de lavado y pelado se realizan en una máquina lavadora/peladora, que consta de un tambor cilíndrico (Lámina 20), donde las raíces de yuca reciben chorros de agua mientras se friccionan unas con otras y contra la lámina del tambor que tiene agujeros rectangulares que permiten la salida de desechos. El agua es suministrada por un tubo bifurcado, que entra por los extremos del cilindro o en otros modelos se suministra a través de un eje central perforado, la cual ayuda a desprender las impurezas y la cascarilla de las raíces. La capacidad de una lavadora-peladora es de 1 000-1 500 kg/h y su consumo de agua es alrededor de 1 L de agua / kg de raíces. El tiempo de lavado de cada carga es de 5 minutos (Alarcón y Dufour, 1998).

Una vez lavadas las raíces, el rallado se realiza en un dispositivo formado por un cilindro de madera cubierto por una lámina de hierro galvanizado con perforaciones, una o dos perforaciones por cm², el cual gira a gran velocidad (1 200-1 300 rpm) y permite reducir las raíces de yuca a una pulpa (Lámina 21). El rendimiento promedio de este equipo es de 1 500 kg de raíces/h. Esta operación suele hacerse en seco, pero en algunos casos se utiliza agua cuando la pulpa se puede hacer fluir directamente a la operación de filtración. Cuando se ralla con agua aproximadamente se consume 1 L/kg de raíces. El rallador debe ser reemplazado frecuentemente debido a su rápido desgaste.



Lámina 16
Rallado manual



Lámina 17
Colado de pulpa o material fibroso



Lámina 18
Secado sobre techos en tejas de zinc



Lámina 19
Secado sobre esteras



Lámina 20
Lavadora/peladora de raíces de yuca

La masa rallada pasa a través de una coladora que consta de un cilindro asociado a un semieje el cual tiene aspas que mezclan la masa rallada de yuca con agua; gira a una velocidad de 20-22 rpm y se carga y descarga lateralmente. La lámina interior del cilindro está cubierta por una malla de tela o nailon la que permite el paso de la lechada de almidón y retiene la pulpa o material fibroso (generalmente, tamaño de malla 100-200). La capacidad normal de una coladora de este tipo es de 250-300 kg de masa rallada/h (Lámina 22).



Lámina 21
Rallador de raíces de yuca

La calidad del almidón, respecto a su contenido de fibras e impurezas, depende de la malla que se utilice; se puede obtener almidón de mejor calidad empleando malla 120 o más fina. Para evitar que pequeñas partículas de fibra pasen a la lechada de almidón, se recomienda realizar un recolado con el objeto de retener las fibras finas que pudieron pasar, operación que se puede realizar usando un tamiz vibratorio (Lámina 23).

La lechada de almidón que sale de la coladora contiene almidón, fibra fina y material proteico en suspensión. La sedimentación de la lechada se realiza en canales (Lámina 24) o en tanques de sedimentación (Lámina 25); esta etapa puede durar tres horas en los canales y de 6-8 horas en los tanques. Al final en los canales se obtienen tres capas: la capa inferior es el almidón, la intermedia se denomina mancha (almidón mezclado con material proteico) y la capa superior es agua. El agua sobrenadante es eliminada en un desagüe y se deja sedimentar de nuevo en un tanque para separar restos de mancha y luego es conducida a ríos o quebradas o recirculada para la operación de lavado y evitar la contaminación de las corrientes de agua. La mancha es retirada lavando con agua



Lámina 22
Coladora y tamiz vibratorio

la capa superior del almidón sedimentado y utilizando para ello una herramienta manual de limpieza que tiene un borde recubierto con caucho.

La capacidad de sedimentación de la lechada de almidón es una de las limitantes de esta tecnología. Si se emplean tanques de sedimentación la capacidad está limitada por el número de tanques de que se disponga. Los tanques se construyen con ladrillos y se recubren con baldosín, generalmente son de un volumen de 2-5 m³.

Si se emplean canales de sedimentación la operación es continua. Estos son de concreto y están revestidos de baldosa o cerámica que facilita la limpieza y evita el deterioro del concreto. Su sección transversal tiene 60 cm de ancho y 40 cm de profundidad. El canal ideal para crear un flujo laminar y lograr una sedimentación homogénea debería ser rectilíneo y de más de 180 m de largo. Por lo general no es posible hacer esta construcción por falta de espacio por lo que comúnmente se construye un laberinto o conjunto de canales paralelos de 25 cm cada uno, sin pendiente o inclinación durante su recorrido y diseñados de tal forma que sus puntas o extremos sean curvos o redondeados para evitar que la lechada de almidón choque contra las paredes de los canales, forme turbulencia por contraflujo y mezcle el almidón con la mancha en estos puntos. Se ha recomendado un sistema que consta de siete canales de 25-30 m de largo cada uno.

La sedimentación hecha en canales es más rápida, ya que un gránulo de almidón debe recorrer 0,8 m en un tanque de sedimentación y solo 0,1 m en los canales. En los tanques se mezcla parte de la mancha con el almidón y se pierde hasta un dos por ciento del almidón sedimentado cuando este se «desmancha»; en los canales casi toda la mancha sale suspendida en el agua residual y muy poca alcanza a sedimentar sobre la capa de almidón.

Una vez sedimentado el almidón en los canales o tanques de sedimentación, tiene una humedad entre 45-47 por ciento; es recolectado y transportado en bloques compactos y es desmenuzado con las manos o con un implemento quebrantador para ser secado por exposición al sol sobre patios de concreto (Lámina 26.) o sobre bandejas (Lámina 27) hasta un nivel de humedad de aproximadamente 12 por ciento. Para facilitar el secado en patios de concreto el almidón se seca sobre plástico de polietileno color negro calibre 6, a fin de captar mayor radiación solar y lograr un secado rápido y uniforme; se extiende en capas a razón de 1-2 kg/m².



CLAYUCA

Lámina 23
Tanques y canales de sedimentación



CLAYUCA

Lámina 24
Secado en patios de concreto



CLAYUCA

Lámina 25
Secado en bandejas



EBS (2005)

Lámina 26
Recepción de materia prima



EBS (2005)

Lámina 27
Prelimpieza de raíces



EBS (2005)

Lámina 28
Lavado y pelado de raíces

Generalmente para secar una tonelada de almidón en un patio de secado de 1 000 m², se requieren aproximadamente seis horas de sol. El almidón debe ser removido suavemente dos o tres veces durante este período con rastrillos; en esta operación el viento arrastra polvo de almidón ocasionado pérdidas de alrededor de 0,7 por ciento (Alarcón y Dufour, 1998). El secado es una de las etapas más limitantes en el proceso de extracción de almidón de yuca en las agroindustrias de mediana escala ya que se requieren grandes extensiones de suelo para los patios de secado y contar con un clima soleado favorable.

El almidón seco en forma de terrones es molido y posteriormente tamizado en mallas o tamices, generalmente entre malla 100–200; su finura o granulometría depende de las características del almidón que se desea obtener. Finalmente, es empacado en bolsas de papel multipliegos o en bolsas de polipropileno.

TECNOLOGÍA MECANIZADA DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA

En este tipo de tecnología todas las etapas del proceso de extracción de almidón de yuca son mecanizadas. Estas industrias procesan entre 15-150 toneladas de almidón por día. Su rendimiento varía entre 27-33 por ciento, o sea una relación de peso de raíces frescas: almidón de 3-3,7:1.

Generalmente en este tipo de tecnología se utiliza cosecha mecanizada. El procesamiento en estas agroindustrias comienza en la recepción y pesaje de la carga de yuca (Lámina 28). Los camiones son pesados y conducidos a rampas de descarga que los conducen a un depósito recibidor, generalmente de concreto, donde las raíces son almacenadas para alimentar el proceso industrial en un tiempo máximo de 24 horas. Generalmente, el exceso de tierra que viene unida a las raíces es devuelto a los camiones, para de esta manera aumentar la eficiencia de la cantidad de materia prima entregada.

Del depósito las raíces de yuca son conducidas por elevadores hacia una etapa de prelimpieza donde se eliminan excesos de impurezas tales como pedúnculo o pequeños tallos remanentes y tierra cuya presencia

dificulta el pelado y aumenta el contenido de fibra del almidón además de disminuir la vida útil de las lagunas de sedimentación (Lámina 29).

Las raíces de yuca son conducidas a los lavadores por medio de bandas transportadoras. Los lavadores son tambores cilíndricos con un eje central provisto de

aspas, diseñados para lavar y pelar las raíces simultáneamente. La acción combinada de chorros de agua a alta presión y la abrasión de las raíces contra las paredes del tambor y entre ellas, remueve más fácilmente la cascarilla (Lámina 28). Luego, se realiza una clasificación e inspección de las raíces a través de bandas que alimentan a los trituradores. La inspección es visual y manual para retirar impurezas que se hayan pasado en la etapa de prelimpieza y que puedan dañar algún equipo interfiriendo en la calidad del producto extraído (Lámina 29).

Luego de la inspección, las raíces lavadas y peladas son alimentadas a un triturador cuya función es estandarizar su tamaño a 2-3 cm, permitiendo una alimentación uniforme y una desintegración más eficiente (Lámina 30). Las raíces trituradas se conducen por un elevador de rosca helicoidal a un alimentador/dosificador que permitirá la distribución de la cantidad programada a un desintegrador; este es un cilindro rotativo que funciona a alta velocidad periférica, con láminas dentadas en la superficie que rallan la yuca causando el rompimiento celular y la consecuente liberación del almidón (Lámina 31).

La masa rallada es una mezcla de yuca rallada/agua que es bombeada a las tamizadoras o extractoras cónicas rotativas para retirar la fibra del almidón. Estos extractores son montados en baterías con la finalidad de aumentar el rendimiento. El agua entra en chorros a contracorriente para separar mejor el almidón (Lámina 32).

La suspensión extraída o lechada de almidón es alimentada a dos separadores centrífugos, uno primario y otro secundario, para las etapas de purificación y concentración, respectivamente. La lechada de almidón se alimenta a la centrífuga primaria de platos (Lámina 34) por medio de un tanque pulmón o de bombeo (Lámina 33) donde es purificada con la adición de agua y centrifugada para retirar los almidones solubles y partículas extrañas. Enseguida, la lechada de almidón purificada sigue a la etapa de concentración en la centrífuga secundaria (Lámina 35), donde el almidón es concentrado hasta 20-22 °Bé.

El agua removida del primer separador centrífugo es usada para la etapa de lavado, mientras que la del segundo es usada para el rallado o desintegración de las raíces (Sriroth *et al.*, 2000) y luego son canalizadas hacia la red de tratamiento de efluentes de la planta. Antes de pasar a los separadores centrífugos, para el proceso de purificación y concentración, el almidón puede ser pasado a través de filtros, los cuales consisten



EBS (2005)

Lámina 29
Inspección de raíces



EBS (2005)

Lámina 30
Triturador



EBS (2005)

Lámina 31
Desintegrador



EBS (2005)

Lámina 32
Tamizadoras o extractoras



EBS (2005)

Lámina 33
Tanque pulmón o de bombeo



EBS (2005)

Lámina 34
Centrifuga primaria

en hidrociclones para remover el contenido de arena. Estos filtros son comunes en Asia y frecuentemente encontrados en Brasil. La purificación y concentración son hechas por medio de separadores centrífugos.

El almidón concentrado es bombeado a un tanque especial de mezclado que posee un mecanismo de agitación que permite la mezcla constante del producto concentrado y evita su decantación; luego es bombeado a un separador. Existen dos sistemas para separar el agua del almidón en la lechada de almidón: por medio de un filtro de vacío o de una canasta centrífuga; el primero es adoptado por la mayoría de las empresas brasileñas y el segundo usado en China y Tailandia y se está incrementando su uso en Brasil. El filtro de vacío (Lámina 36) consta de una tela cilíndrica perforada cubierta por tejidos que se remueven cada ocho horas y la canasta centrífuga (Lámina 37), consta de un disco de gira a altas revoluciones. La ventaja de la canasta centrífuga es que permite obtener un producto con 33-35 por ciento de humedad, mientras que con el filtro de vacío se obtiene un producto con aproximadamente 45-48 por ciento de humedad. La disminución de la humedad reduce el consumo de energía durante la etapa de secado. Sin embargo, las canastas centrífugas son más costosas y consumen más energía (Sriroth *et al.*, 2000).

El almidón deshidratado al vacío sigue por una válvula rotativa que lo dosifica a un secador neumático. En todas las plantas modernas el almidón es secado en secadores neumáticos con corto tiempo de residencia y evaporación rápida del agua. (Lámina 38, parte superior). El almidón se conduce y seca por una corriente de aire caliente proveniente de una caldera. Las temperaturas en estos equipos varían entre 120-170 °C. Cuando se usan filtros de vacío el alto contenido de humedad en el almidón requiere bajas temperaturas con largos períodos de secado, para prevenir la

gelatinización del almidón. Para reducir el período de secado con altas temperaturas es conveniente mezclar almidón húmedo con almidón seco. En Tailandia las fábricas trabajan a altas temperaturas durante períodos reducidos ya que usan canastas centrífugas. La separación del aire y almidón es hecha en ciclones ya que el 37,5 por ciento del almidón es perdido en la etapa de secado, pero es recuperado por los ciclones con lo cual la pérdida de almidón disminuye a 2,7 por ciento.

El almidón seco en forma de polvo con una humedad entre 12-13 por ciento y una temperatura media de 58 °C es transportado a un silo (Lámina 38, parte inferior) el cual tiene la función de enfriar y almacenar temporalmente el almidón resultante del proceso

que será conducido posteriormente a la etapa de envasado. Si se almacenara el producto que sale del secador «flash» a una alta temperatura con humedad residual, la humedad del almidón se condensará en el silo de almacenamiento produciéndose la gelatinización del almidón, la formación de grumos y un aumento de la población microbiana.

Los secadores «flash» usados en varios países presentan diferencias en su funcionamiento. Las plantas de Brasil usan sistemas de ventilación de presión positiva, en cambio las de China y Tailandia usan presión negativa, con el ventilador colocado al final del secador, permitiendo una reducción de la pérdida de almidón y menor consumo de energía en el proceso de secado. Además, las fuentes de energía utilizadas son diferentes; en Tailandia generalmente se usa aceite, en Brasil madera y en China carbón.

Los efluentes del proceso son dispuestos para tratamiento; el agua que sale de la extracción es conducida para su purificación y la pulpa resultante es canalizada a un silo de almacenamiento para ser usada en húmedo o ser secada (Lámina 39).

Una vez secado y enfriado el almidón es tamizado para remover las partículas grandes y luego es transportado por alimentadores helicoidales a una envasadora automática. Para minimizar la pérdida de almidón durante el envasado y prevenir explosiones producidas cuando hay mucha concentración de almidón super seco en el aire (< 10 por ciento de humedad) es recomendable usar sistemas que permitan eliminar las cargas eléctricas estáticas en la salida del silo y en la entrada a la envasadora (Vilpoux, 2004). El almidón es envasado en sacos multipliego de papel con capacidad de 10, 25 y 50 kg que se pueden movilizar «a hombro». Algunas compañías también usan grandes bolsas de 800 a 1 000 kg que deben ser transportadas con medios mecánicos.

USO Y TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN

Los residuos obtenidos en la producción de almidón de yuca pueden ser clasificados en dos categorías, a saber: sólidos que incluyen la fibra, la cascarilla de la yuca y la mancha



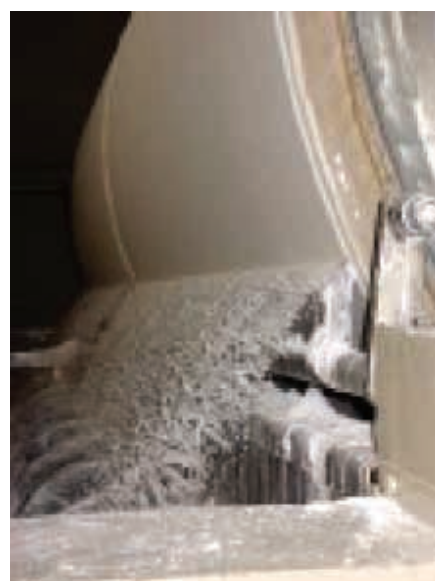
EBS (2005)

Lámina 35
Centrifuga secundaria



VILPOUX (2004)

Lámina 37
Canasta centrifuga



VILPOUX (2004)

Lámina 36
Filtro de vacío



EBS (2005)

Lámina 38
Secador «flash» y silo de enfriamiento



EBS (2005)

Lámina 39
Silo de almacenamiento de fibras

y líquidos como las aguas residuales de las etapas de lavado, filtrado y sedimentación o deshidratación.

La cascarilla puede ser usada como fertilizante, en la alimentación animal mezclada con otros productos de la yuca o como sustrato en el cultivo de hongos o setas comestibles.

La fibra, subproducto de la operación de filtrado, se usa como complemento de concentrados para animales o se da directamente como alimento animal. Este material contiene una humedad entre 85-90 por ciento, cuya materia seca contiene 12-14 por ciento de fibra cruda, 2 por ciento de grasa y 2,5 por ciento de proteína (Buitrago, 1990). En Brasil, la fibra es pasada a través de un filtro prensa muy efectivo para disminuir la humedad desde un contenido de 90 hasta 40 por ciento; en otras plantas la fibra es secada en hornos similares a los utilizados en la producción de harina de yuca. En este último caso, la fibra seca es vendida como floculante en la industria minera. En Tailandia, la fibra es secada en los pisos de concreto donde la yuca es recibida o donde secan los trozos o astillas y es mezclada con los trozos en la producción de peletizados para la alimentación animal o es usada por algunas empresas como materia prima para la producción de ácido cítrico (Vilpoux, 2004).

La mancha obtenida luego del proceso de sedimentación, contiene almidón de baja densidad, 95 por ciento de humedad y su materia seca contiene 4 por ciento de proteína y 1 por ciento de grasa; generalmente se utiliza en la alimentación de porcinos (Buitrago, 1990).

El proceso de extracción de almidón de yuca consume grandes volúmenes de agua. En las tecnologías a escala artesanal o medianamente mecanizadas se consumen alrededor de 7-10 m³ de agua por tonelada de yuca (Alarcón y Dufour, 1998). Las tecnologías modernas consumen alrededor de 5-6 m³ por tonelada de yuca (EBS, 2005).

Por lo común, el agua utilizada en el proceso de extracción de almidón proviene de manantiales, por lo regular tiene un bajo contenido de minerales, o agua de pozos profundos, la cual en comparación con el agua superficial está libre de materia orgánica y microorganismos; también se utiliza agua de lagos, ríos, quebradas y pozos superficiales, aunque esta última por lo general está contaminada con materia orgánica y microorganismos. Es recomendable, utilizar un filtro para el agua empleada en el proceso construido por capas de grava gruesa, grava fina y arcilla que reducen los minerales y sólidos en suspensión contenidos en las aguas.

Cuando se procesa yuca para la obtención de almidón, independientemente de que sean variedades dulces o amargas, el almidón obtenido no contiene residuo alguno de ácido cianhídrico porque este se disuelve totalmente en el volumen de agua que requiere el proceso y se separa así del almidón; por esta razón las aguas residuales de las etapas de filtrado y sedimentación contienen ácido cianhídrico en solución. Se ha estimado que el proceso de extracción genera una carga contaminante de cerca de 180 kg de demanda química de oxígeno (DQO) por tonelada de raíces (Dufour *et al.*, 1996). Por ello, todas las tecnologías utilizadas para el proceso de extracción de almidón, deben realizar un tratamiento de las aguas efluentes del proceso y no contaminar las corrientes de agua.

El agua más contaminada es la obtenida del proceso de sedimentación o deshidratación y el agua obtenida en las otras etapas del proceso es más clara y requiere menos tratamiento. Esta última puede ser reciclada para lavar con ella las raíces de yuca, lo que aumenta la rapidez y la eficiencia de esta operación y del proceso en general, ahorrando así cerca del 17 por ciento del agua que consume todo el proceso de obtención de almidón.

La mayoría de las plantas de almidón de Tailandia y Brasil usan lagunas de sedimentación para el tratamiento de las aguas residuales. Un decantador puede ser útil en el tratamiento del agua de lavado, principalmente en el tratamiento anaeróbico con recuperación de biogás. En este caso, el tratamiento puede ser básicamente hecho con aguas diluidas, lo cual decrece el volumen de reacción en el tanque e incrementa la eficiencia y por lo tanto reduce la inversión. Se ha estimado que el biogás obtenido por el tratamiento de las aguas puede suplir hasta un 75 por ciento la energía necesaria para un proceso de secado de almidón indirecto y hasta un 100 por ciento de la energía si el proceso de secado es directo y que el biogás no libere ningún residuo durante su combustión (Vilpoux, 2004).

Capítulo 8

Análisis físicoquímico del almidón

DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DEL GRÁNULO

Técnica usada (ISI, 1999)

La distribución del tamaño del granulo del almidón es determinada utilizando un equipo Ro-tap que consta de un grupo mínimo de tamices con cribas de malla 140 (106 μm), 80 (180 μm) y 60 (250 μm) (Lámina 40).

Preparación de la muestra

Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar, mezclar bien, cuartear, moler y tomar 150 g de almidón.

Materiales y equipos

- Balanza
- Equipo Ro-tap con tapa y fondo

Análisis

- Pesar cada tamiz y el fondo, vacíos y limpios.
- Pesar 100 g de la muestra de almidón y transferir al tamiz de la parte superior del grupo de tamices.
- Agitar el grupo de tamices hasta que la cantidad de almidón que pasa a través de la parte superior del grupo de tamices sea insignificante (aproximadamente 10 minutos).
- Remover el tamiz de la parte superior y agitar hasta que la cantidad de almidón a través del siguiente tamiz sea insignificante.
- Continuar de igual forma con los otros tamices hasta que todos sean removidos.
- Pesar cada uno de los tamices y el fondo con sus respectivas fracciones de almidón.



Lámina 40
Equipo de tamizado de tipo Ro-tap.

Cálculos e interpretación de los resultados

Peso neto individual = peso tamiz + fracción de almidón) – peso de cada tamiz vacío

Gran total = Σ pesos netos individuales

Registrar cada fracción de almidón como porcentaje del gran total, caracterizado por el ancho de la malla en micrómetros.

Valores de referencia

El 99 por ciento de los gránulos de almidón deben pasar a través de un tamiz de malla 100 o el 95 por ciento pasar a través de un tamiz de malla 140 (106 μm).

CONTENIDO DE MATERIA SECA

Técnica usada (ICONTEC, 2002)

La pérdida en peso durante el período de calentamiento es considerado igual al contenido de materia seca.

Preparación de la muestra

Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar, mezclar bien, moler, cuartear y tomar 50 g de almidón.

Materiales y equipos requeridos

- Balanza analítica con una precisión de 0,01 g
- Crisoles plásticos o de vidrio
- Horno con temperatura constante y ventilación forzada
- Desecador con un agente de secado

Análisis

- Pesar los crisoles vacíos, limpios y enfriarlos en un desecador, después de secar durante cinco horas en un horno a 80 °C (P₁).
- Pesar en el crisol vacío entre 20- 30 g de la muestra de almidón (P₂).
- Colocar el crisol con la muestra de almidón en un horno a 80 °C durante 24 horas.
- Enfriar los crisoles con el almidón seco en un desecador hasta obtener peso constante (30-45 minutos) (P₃).
- Pesar los crisoles con la muestra de almidón seca.

Cálculos e interpretación de los resultados

$$\% \text{ materia seca} = \frac{100 \times (P_3 - P_1)}{(P_2 - P_1)}$$

Almidones con contenidos de materia seca mayores de 90 por ciento indican severas condiciones de secado y almidones con contenidos de materia seca menores de 87 por ciento indican probabilidad de contaminación con hongos y otros microorganismos.

Valores de referencia

El contenido de materia seca de los almidones debe estar entre 87-90 por ciento.

PULPA

Técnica usada (Grace, 1977)

Esta prueba permite determinar con relativa facilidad la presencia de pequeñas cantidades de fibra en el almidón. El volumen del sedimento medido depende, en cierto modo, de la finura de la fibra. La presencia de cualquier indicio de fibra, pulpa u otra impureza son determinadas por medio de una hidrólisis ácida moderada del residuo de la muestra.

Preparación de la muestra

Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar, mezclar bien, cuartear, moler y tomar 150 g de almidón.

Materiales y equipos

Balanza analítica con una precisión de 0,01g

- Plancha
- Crisoles filtrantes
- Papel filtro Whatman N° 1
- Horno con calentamiento constante
- Agua destilada
- Ácido clorhídrico 0,4 por ciento (v/v)

Análisis

- Hervir 2- 3 g de almidón durante una hora en 100 mL de ácido clorhídrico 0,4 por ciento.
- Filtrar el líquido en un crisol filtrante, previamente pesado, provisto de papel filtro.
- Lavar con agua caliente.
- Secar el crisol a 105-110 °C hasta peso constante.

Cálculos e interpretación de los resultados

$$\text{Pulpa (\%)} = \frac{[(\text{Peso de crisol después de secado (g)} - \text{peso de crisol vacío (g)}) \times 100]}{\text{Peso de muestra analizada (g)}}$$

Valores de referencia

Un almidón de buena calidad no debe exceder 0,3 por ciento de pulpa.

DETERMINACIÓN DEL COLOR

Técnica usada (Grace, 1977)

El método descrito es una determinación cualitativa y es útil en el campo: el grado de brillantez o blancura del almidón se compara visualmente con el de otro tomado como patrón que debe ser de primera calidad. El resultado no puede expresarse claramente otorgando un puntaje. La dificultad de conseguir almidón de blancura uniforme y que se conserve sin estropearse durante un tiempo suficientemente largo es un notable inconveniente. Actualmente, se usan técnicas espectrofotométricas donde se obtiene un resultado objetivo y exacto para la determinación cuantitativa de la blancura del almidón mediante la comparación de su grado de reflectividad respecto a la de un patrón de blancura como el sulfato de bario. En ensayos comparativos, en los que los mismos almidones se evaluaron por el método visual directo y por el método de la reflectividad, se observó que el primero es casi tan preciso como el segundo, siempre que el observador haya tenido tiempo suficiente para adquirir experiencia en el método visual y habituarse a las normas de blancura adoptadas.

Preparación de la muestra

Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar, mezclar bien, cuartear, moler y tomar 50 g de almidón.

Materiales y equipos

- Almidón patrón
- Hojas de papel blancas y limpias
- Espátula

Análisis

- Tomar una cantidad suficiente de almidón con una espátula sobre una hoja de papel blanco.
- Formar un rectángulo de aproximadamente 2,5- 5 cm de longitud y 1,6-3,5 cm de altura.
- Formar un rectángulo igual con un almidón patrón.
- Colocar un papel limpio y fino sobre las dos muestras y presionar suavemente para igualar la superficie superior.
- Comparar la muestra de almidón y el almidón patrón visualmente, utilizando una luz neutral (luz del día) sin reflejos directos y sin sombra.

Cálculos e interpretación de los resultados

El color es un indicativo del grado de la calidad, contaminación o de infestación del almidón.

Valores de referencia

El almidón debe tener un color blanco.

DENSIDAD APARENTE

Técnica usada (Smith, 1967)

La densidad aparente del almidón puede ser determinada utilizando la relación entre el peso del almidón que ocupa un volumen conocido. Se puede determinar en dos formas: con el almidón suelto y con el almidón empacado.

Preparación de la muestra

Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar, mezclar bien, cuartear, moler y tomar 50 g de almidón.

Materiales y equipos

- Balanza analítica con una precisión de 0,01 g
- Probeta graduada de 250 mL
- Embudo
- Espátula
- Equipo de vibración de base de madera

Análisis

Densidad aparente del almidón suelto

- Pesar la probeta graduada vacía.
- Adicionar cuidadosamente con una espátula la muestra de almidón a la probeta de 250 mL por medio de un embudo hasta que el volumen total sea libremente completado.

Densidad aparente del almidón empacado

- Sostener la probeta con la muestra de almidón en un vibrador y adicionar almidón hasta que el volumen ocupado sea el valor mínimo
- Realizar la vibración durante cinco minutos a una frecuencia y amplitud de manera tal que la probeta vibre rítmicamente con la base de madera
- Medir el volumen de muestra empacada

Cálculos e interpretación de los resultados

Densidad aparente del almidón suelto (g/mL) =

$$\frac{[(\text{peso probeta} + \text{almidón suelto}) (\text{g})] - \text{peso probeta vacía} (\text{g})}{250\text{mL}}$$

Densidad aparente del almidón empacado (g/mL) =

$$\frac{[(\text{peso de probeta} + \text{almidón empacado})(\text{g})] - \text{peso probeta vacía} (\text{g})}{\text{Volumen de muestra empacada} (\text{mL})}$$

Valores de referencia

El almidón debe tener una densidad promedio de 1,560 g/mL.



Lámina 41
Viscosímetro Brookfield

VISCOSIDAD BROOKFIELD

Técnica usada (ISI, 2002)

La viscosidad de un gel de almidón preparado por calentamiento indirecto es medida como una fuerza de torsión sobre una aguja rotante con temperatura y velocidad constante.

Preparación de la muestra

Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar, mezclar bien, cuartear, moler y tomar 100 g de almidón.

Materiales y equipos

- Balanza analítica con una precisión de 0,01g
- Viscosímetro Brookfield modelo DV-II (Lámina 41)
- Aguja para el Brookfield N° 21
- Baño de agua con temperatura constante
- Balón volumétrico de 500 mL
- Vaso de precipitado de vidrio de 1 000 mL
- Plancha con agitador
- Magneto
- Termómetro

Análisis

- Pesar 25,0 g de almidón en base seca, disolver en agua destilada y completar a 500 mL.
- Colocar la suspensión en un vaso de precipitado de 1 000 mL y calentar con agitación hasta ebullición (aproximadamente 15 minutos).
- Enfriar el gel hasta 25 °C y tomar una alícuota de 15 mL
- Medir la viscosidad a 25 °C, con una velocidad de 10 RPM.

Cálculos e interpretación de los resultados

Reportar la viscosidad sin decimales en centipoises (cP), informar el método utilizado: la concentración de la suspensión de almidón, temperatura, velocidad y número de aguja utilizada.

Valores de referencia

En general el valor de la viscosidad en los geles de yuca con una concentración del cinco por ciento, a 25 °C, con una velocidad de 10 RPM, varía entre 840 -1 500 cP.

VISCOSIDAD ALCALINA**Técnica usada (Grace, 1977)**

El método consiste en medir la viscosidad de una suspensión de almidón en una solución diluida de álcali a temperatura ambiente.

Preparación de la muestra

Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar, mezclar bien, cuartear, moler y tomar 100 g de almidón.

Materiales y equipos

- Balanza analítica con una precisión de 0,01 g
- Agitador mecánico con aspas de vidrio
- Baño de agua con temperatura constante
- Probetas de 100 y de 300 mL
- Vaso de precipitado de vidrio de 600 mL
- Viscosímetro Engler (Lámina 42)
- Termómetro
- Agua destilada
- Hidróxido de sodio 1 por ciento (p/v): disolver 1 g de hidróxido de sodio en agua destilada y completar a 100 mL.

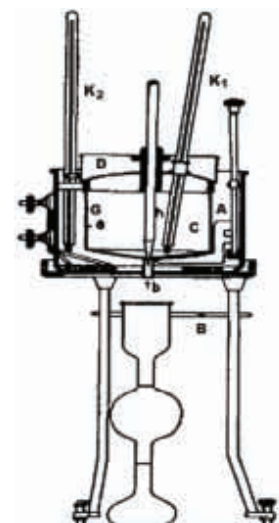


Lámina 42
Viscosímetro Engler

Análisis

- Pesar 3,0 g de almidón en un vaso de precipitado de 600 mL y agregar 30 mL de agua destilada.
- Homogenizar la suspensión con un agitador mecánico a una velocidad de 200 RPM y mantener la suspensión a 27,5 °C en un baño de agua.
- Agregar 270 mL de la solución de hidróxido de sodio al 1 por ciento.
- Agitar durante tres minutos a 200 RPM desde el momento que se le agrega el hidróxido de sodio.
- Mantener la mezcla a 27,5 °C en un baño de agua durante 27 minutos.
- Agregar cuidadosamente la mezcla al viscosímetro y tomar el tiempo que demora el flujo de la solución en atravesar del aforo superior al aforo inferior.

Cálculos e interpretación de los resultados

Viscosidad alcalina (grados Engler) =

$$\frac{\text{Tiempo que demora en pasar la muestra a } 27,5 \text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{Tiempo que demora en pasar agua a } 20 \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

Valores de referencia

No conocidos.



Lámina 43
Viscosímetro Scott

CONSISTENCIA DE LA PASTA

Técnica usada (ICONTEC, 1974)

El poder viscosante o consistencia de la pasta se determina por viscosimetría. Para almidones el método más usado es el *ensayo Scott de la consistencia de la pasta*, que utiliza un viscosímetro capilar (Lámina 43). Las dimensiones del viscosímetro pueden variar de un diseño a otro y puede ser elaborado fácilmente. Las dimensiones de un modelo común en vidrio son: diámetro interno 40 mm; diámetro interno del vástago 4 mm; longitud del vástago 140 mm, longitud de la copa 125 mm. La capacidad aproximada del viscosímetro es 150 mL.

Preparación de la muestra

Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar, mezclar bien, cuartear, moler y tomar 100 g de almidón.

Materiales y equipos

- Balanza analítica con una precisión de 0,01 g
- Viscosímetro tipo Scott (embudo enchaquetado de vidrio con aforo superior e inferior)
- Baño de agua con termóstato
- Vasos de precipitados de 200 mL
- Cronómetro
- Vidrio de reloj
- Varilla de vidrio
- Agua destilada
- Solución de sacarosa

Análisis

- Tarar el viscosímetro de capilar con una solución de sacarosa como material de referencia (su comportamiento reológico, no Newtoniano, es similar al del almidón).
- Preparar una suspensión de almidón al 4 por ciento (p/p) y colocar en el baño con termóstato, a 70 °C (temperatura mayor de la temperatura de gelatinización del almidón de yuca).
- Seguir los siguientes pasos:
 - A 0 min: iniciar la agitación de la suspensión con la varilla de vidrio.
 - A 5 min: suspender la agitación, retirar la varilla de vidrio, cubrir el vaso de precipitados con un vidrio de reloj y dejar en reposo en el baño de agua.
 - A 11:45 min: retirar el vidrio de reloj y agitar con la varilla de vidrio, previamente lavada y seca, para reincorporar la capa coagulada que sobrenada y homogenizar la suspensión.
 - A 12:00 min: retirar el vaso de precipitados del baño y agitar manualmente la suspensión con la varilla de vidrio, sin grumos coagulados, durante 15 segundos.
 - A 12:15 min: colocar la suspensión en la copa del viscosímetro Scott hasta el aforo superior y colocar un tapón en la parte inferior del vástago para impedir su paso.
 - A 15:00 min: retirar el tapón del vástago y tomar el tiempo que demora en pasar la solución de almidón entre el aforo superior y el inferior.

Cálculos e interpretación de resultados

La consistencia de la pasta se expresa como gramos de muestra por número de segundos que demoró la suspensión en pasar del aforo superior al aforo inferior.

Valores de referencia

Estos valores dependen del diseño del viscosímetro capilar utilizado. Para el viscosímetro de las especificaciones indicadas el valor de la consistencia de la pasta es de 453,74 s que corresponde a 758,01 cP.



Lámina 44
Viscógrafo Brabender

VISCOAMILOGRAMA BRABENDER

Técnica usada (ISI, 2000)

El viscoamilograma es un registro del comportamiento de una suspensión de almidón a una concentración determinada, durante el calentamiento y enfriamiento bajo una velocidad constante de cizallamiento. El incremento en la viscosidad es medida por un torque sobre una aguja, con un sistema de control automático y en una curva son reproducidos los perfiles de gelatinización y de empastamiento del almidón analizado. Se realiza con un viscógrafo Brabender (Lámina 44) y los datos son reportados en Unidades Brabender (UB).

Preparación de la muestra

Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar, mezclar bien, cuartear, moler muy bien y tomar 50 g de almidón.

Materiales y equipos

- Balanza analítica con una precisión de 0,01 g
- Agitador y plancha de calentamiento
- Viscógrafo Brabender (Lámina 44)
- Frascos volumétricos de 500 mL

- Agua destilada

Análisis

- Pesar 25,0 g de almidón (bs) disolver en agua destilada y completar a 500 mL.
- Transferir completamente la suspensión a la vasija del viscógrafo Brabender.
- Iniciar el calentamiento desde 25 °C hasta 95 °C a una velocidad de 1,5 °C/min.
- Mantener la temperatura a 95 °C durante 20 minutos.
- Enfriar hasta 50 °C con una velocidad de 1,5 °C/min.
- Mantener la temperatura a 50 °C durante 10 minutos.

Cálculos e interpretación de los resultados

Los valores determinados por medio del viscógrafo Brabender son:

Temperatura de gelatinización

Durante la fase inicial de calentamiento la temperatura de gelatinización es la temperatura a la cual los gránulos del almidón se empiezan a hinchar y hay un aumento en la viscosidad; se expresa en grados centígrados (°C).

Viscosidad máxima

Es el valor mayor de viscosidad durante el proceso de empastamiento de los geles; se expresa en Unidades Brabender (UB).

Facilidad de cocción

Es el tiempo que transcurre en alcanzar e hinchamiento de todos los gránulos, desde el momento en que este se inicia. Se calcula restando el tiempo en que alcanza la viscosidad máxima y el tiempo en que alcanza la temperatura de gelatinización; se expresa en minutos (min).

Inestabilidad del gel

Indica la estabilidad de la pasta o carencia de ella, durante la cocción. A mayor valor, menor estabilidad de la pasta; se calcula como la diferencia entre la viscosidad máxima y

la viscosidad después de mantenerse 20 minutos a 95 °C y es expresada como Unidades Brabender (UB).

Indice de gelificación

Indica la retrogradación de la pasta después del enfriamiento y la capacidad de formar geles. Se calcula como la diferencia entre la viscosidad a 50 °C y la viscosidad después de mantenerse 20 minutos a 95 °C; se expresa en Unidades Brabender (UB).

Valores de referencia

En el almidón de yuca la temperatura de gelatinización varía entre 58,5-70 °C, la viscosidad máxima varía entre 400-900 UB y la facilidad de cocción entre 1-5 min.

TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN

Técnica usada (Grace, 1977)

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría; cuando se calientan en solución a temperaturas altas alcanzan una temperatura específica en la cual se inicia el hinchamiento de los gránulos. Esta temperatura es llamada temperatura de gelatinización.

Preparación de la muestra

Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar, mezclar bien, cuartear, moler y tomar 100 g de almidón.

Materiales y equipos

- Balanza analítica con una precisión de 0,01 g
- Plancha de calentamiento
- Vasos de precipitado de vidrio de 100 y 250 mL
- Frascos volumétricos de 100 mL
- Pinzas de acero inoxidable
- Termómetro con escala de 0-100 °C

Análisis

- Pesar 10 g de almidón (bs) disolver en agua destilada y completar a 100 mL.
- Calentar agua en un vaso de precipitado de 250 mL a 85 °C.
- Tomar 50 mL de la suspensión en un vaso de precipitado de 100 mL.
- Introducir el vaso de precipitado con la muestra en el agua a 85 °C.
- Agitar con el termómetro constantemente la suspensión de almidón hasta que se forma una pasta y la temperatura permanezca estable por unos segundos.
- Leer la temperatura de gelatinización.

Cálculos e interpretación de los resultados

La temperatura de gelatinización se lee directamente en el termómetro.

Valores de referencia

El valor de la temperatura de gelatinización en almidones de yuca varía entre 57,5-70 °C.

ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA, ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA Y PODER DE HINCHAMIENTO

Técnica usada (Anderson *et al.*, 1969)

Cuando se calienta una suspensión acuosa de almidón, los gránulos se hinchan por una absorción progresiva e irreversible de agua aumentando su tamaño. La determinación de estos índices se mide aprovechando la capacidad de absorción del agua del gránulo de almidón y la exudación de fracciones de almidón a medida que se incrementa la temperatura de las suspensiones de almidón.

Preparación de la muestra

Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar, mezclar bien, cuartear, moler y tomar 50 g de almidón.

Materiales y equipos

- Balanza analítica con una precisión de 0,01 g
- Baño con calentamiento constante
- Centrífuga
- Tubos de centrífuga plásticos de 50 mL
- Vasos de precipitado de vidrio de 50 mL
- Horno con temperatura constante
- Pipeta volumétrica de 10 mL
- Pipeteador de 30 mL

Análisis

- Pesar tubos de centrifuga secos a 60 °C.
- Pesar en los tubos 1,25 g de almidón (bs) y agregar exactamente 30 mL de agua destilada precalentada a 60 °C y agitar (sin excederse).
- Colocar en baño de agua a 60 °C durante 30 minutos; agitar la suspensión a los 10 minutos de haber iniciado el calentamiento.
- Centrifugar a temperatura ambiente a 4 900 RPM durante 30 minutos.
- Decantar el sobrenadante inmediatamente después de centrifugar (máximo un minuto después) y medir el volumen.
- Tomar 10 mL del sobrenadante y colocar en un vaso de precipitados de 50 mL (previamente pesado).
- Secar el sobrenadante en un horno durante toda la noche a 70 °C.
- Pesar el tubo de centrífuga con el gel.
- Pesar el vaso de precipitados con los insolubles.

Cálculos e interpretación de los resultados

$$\text{Índice de absorción de agua (IAA)} = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso muestra (g) bs}}$$

$$\text{Índice de solubilidad en agua (ISA)} = \frac{\text{Peso solubles (g)} \times V \times 10}{\text{Peso muestra (g) bs}}$$

$$\text{Poder de hinchamiento (PH)} = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso muestra (g) bs} - \text{Peso solubles (g)}}$$

Almidones de buena calidad con alto contenido de almidón y alta viscosidad de la pasta, tendrán una baja solubilidad, alta absorción de agua y un alto poder de hinchamiento.

Alta solubilidad, baja absorción de agua y bajo poder de hinchamiento indican un almidón de baja calidad, el cual al enfriarse produce pastas delgadas y de poca estabilidad cuando se enfrían.

Valores de referencia

El índice de absorción de agua en el almidón de yuca varía entre 0,82 y 15,52 g gel/g muestra; el índice de solubilidad en agua entre 0,27-12,32 por ciento y el poder de hinchamiento entre 0,79 y 15,45.

CLARIDAD DE LA PASTA

Técnica usada (Craig *et al.*, 1989)

La claridad indica el grado de transparencia de las pastas y está directamente relacionada con el estado de dispersión de los solutos y con la tendencia a la retrogradación de los almidones.

La capacidad de estas pastas para transmitir la luz cuando son sometidos al paso de un haz radiante mide su claridad.

Preparación de la muestra

Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar, mezclar bien, cuartear, moler y tomar 50 g de almidón.

Materiales y equipos

- Balanza analítica con una precisión de 0,01 g
- Espectrofotómetro
- Baño con calentamiento constante
- Tubos de centrífuga plásticos con tapa de 50 mL
- Agitador de tubo
- Pipeta volumétrica de 5 mL

Análisis

- Pesar en tubos de centrifuga 200 mg de almidón (bs),
- Suspender el almidón en 20 mL de agua destilada.
- Colocar los tubos en un baño de agua en ebullición durante 30 minutos.
- Agitar la suspensión cada cinco minutos.
- Después de pasados 30 minutos colocar la suspensión en cubetas del espectrofotómetro y dejar enfriar a temperatura ambiente.
- Leer el porcentaje de transmitancia a una longitud de onda de 650 nm, utilizando agua destilada como blanco.

Cálculos e interpretación de los resultados

Pastas de almidones que tengan valores de transmitancia menores 40 por ciento se consideran como opacas o turbias.

Pastas de almidones que tengan valores de transmitancia mayores de 40 por ciento se consideran como claras o transparentes.

Valores de referencia

El valor de la claridad en pastas de almidón varía entre 12,5-95 por ciento.

FOSFOLÍPIDOS

Técnica usada (ICONTEC, 2001)

El fósforo en los tubérculos y raíces se encuentra principalmente en forma de fosfatos monoésteres los cuales actúan como grupos con carga negativa (PO_4^{-3}). Estos aniones forman un compuesto de color amarillo con el molibdovanadato el cual es cuantificado espectrofotométricamente.

Preparación de la muestra

Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar, mezclar bien, cuartear y tomar 50 g de almidón.

Materiales y equipos

- Balanza analítica con una precisión de 0,0001 g
- Balones volumétricos de 100, 250, 500, 1 000, 2 000 mL
- Vasos de precipitado de 100, 250, 1 000 mL
- Probeta graduada de vidrio de 250 mL
- Crisoles de porcelana
- Mufla
- Espectrofotómetro
- Papel filtro Whatman N° 1
- Baño de agua
- Pipetas volumétricas de 10, 15, 20, 25 mL
- Agua destilada
- Ácido clorhídrico 6 M
- Ácido clorhídrico 12 M
- Ácido nítrico 1 M
- Ácido nítrico 14 M
- Ácido perclórico 70 por ciento
- Fosfato de potasio monobásico anhidro
- Heptamolibdato de amonio-tetrahidratado

Solución de heptamolibdato de amonio

Disolver 40 g de heptamolibdato de amonio tetrahidratado en 400 mL de agua destilada caliente.

Solución de monovanadato de amonio

Disolver 2 g de monovanadato de amonio en 250 mL de agua destilada caliente; agitar constantemente y agregar lentamente 250 mL de ácido perclórico del 70 por ciento.

Reactivo de molibdovanadato

En un balón volumétrico de 2 L que contenga la solución de heptamolibdato de amonio agregar lentamente y con agitación constante la solución de monovanadato de amonio y completar el volumen a 2 L.

Análisis

- Pesar 0,1-5 g de almidón en un crisol de porcelana.
- Colocar el crisol de porcelana con la muestra en la mufla e incinerar a $575 \pm 25^\circ\text{C}$ durante dos horas.
- Colocar la muestra incinerada en un vaso de precipitados de 250 mL y agregar 30 mL de ácido nítrico 14 M o de ácido clorhídrico 12 M.
- Agitar hasta mezclar bien la muestra con el ácido.
- Calentar y mantener el punto de ebullición hasta la desaparición de humos amarillos o hasta secar.

- Enfriar ligeramente y agregar 10 mL de ácido clorhídrico 6 M.
- Calentar levemente y dejar enfriar
- Agregar una pequeña cantidad de ácido nítrico 14 M y calentar hasta disolución total.
- Enfriar, agregar un poco de agua y transferir cuantitativamente a un balón volumétrico de acuerdo al Cuadro 4, completar a volumen y filtrar.
- Tomar una alícuota en un balón volumétrico de 100 mL de acuerdo al cuadro anterior.
- Agregar 20 mL de reactivo de molibdovanadato de amonio y completar a 100 mL.
- Mantener los balones en un baño de agua 20 °C durante 10 minutos.
- Leer la absorbancia a una longitud de onda de 400 nm.
- Utilizar como blanco un estándar de 0,5 mg de fósforo.

CUADRO 4

Cantidades para preparación de muestras

(%)	Peso muestra (g)	Volumen de dilución (mL)	Alícuota (mL)
1	0,45 a 0,75	250	50
2	0,45 a 0,75	500	50
4	0,45 a 0,75	1 000	50
6	0,60 a 1,00	1 000	25
8	0,56 a 0,94	1 000	20
10	0,60 a 1,00	1 000	20
12	0,50 a 0,83	1 000	20
14	0,43 a 0,72	1 000	15
16	0,56 a 0,93	1 000	15
18	0,50 a 0,80	1 000	15
20	0,45 a 0,75	1 000	10

Preparación de la curva estándar de fósforo (2,0 mg/mL)

- Preparar una solución stock: secar fosfato de potasio monobásico anhidro a 103 °C, durante una hora y pesar 8,788 g, disolver en un L de agua destilada.
- Preparar soluciones estándar de 0,1 mg/mL: diluir 50 mL de la solución estándar de fósforo en un L con agua destilada.
- Transferir alícuotas que contengan 0,5, 0,8, 1,0, 1,5 mg de fósforo (5, 8, 10 y 15 mL) de la solución estándar 0,1 mg/mL a balones volumétricos de 100 mL, adicionar 20 mL reactivo de molibdovanadato de amonio y continuar como las muestras.

Cálculos e interpretación de los resultados

$$\% \text{ de Fósforo} = \frac{LM \times [St_p] \times Vd \times 100}{LSt \times P \times Va \times 1000}$$

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)

La presencia de fósforo en los almidones aumenta el poder de hinchamiento de las pastas y la claridad de los geles.

Valores de referencia

En almidón de yuca el contenido de fosfatos varía entre 0,61-3,60 nmol/mg.

CONTENIDO DE ALMIDÓN

Técnica usada (Mestres, 1993)

El método se basa en la dispersión del almidón en medio acuoso, seguido de una hidrólisis enzimática parcial -obteniendo dextrinas- con α -amilasa termoestable, completando la hidrólisis con amiloglucosidasa -obteniendo glucosa. La glucosa obtenida es cuantificada por colorimetría.

Preparación de la muestra

Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar, mezclar bien, cuartear, moler y tomar 50 g de almidón.

Materiales y equipos

- Balanza analítica con una precisión de 0,01 g
- Espectrofotómetro
- Medidor de pH
- Baño con calentamiento constante
- Erlenmeyers de 125 mL
- Balones volumétricos de 100 mL
- Embudos de caña larga
- Pipetas de 0,05, 0,20, 0,75, 2 mL
- Tubos de ensayo de 10 mL
- Papel filtro Whatman N° 1
- Acetato de sodio anhidro
- Ácido acético glacial
- Trishidroximetil aminometano
- Fosfato de sodio anhidro
- α -amilasa termostable
- Ácido ortofosfórico
- Amiloglucosidasa
- Glucosa oxidasa
- Peroxidasa
- Acido 2-2' Azinobis (3 etil bencetiazoline 6 sulfónico)
- Glucosa anhidra

Solución tampón acetato 2M pH 4,8

Disolver 164 g de acetato de sodio anhidro en 800 mL de agua destilada, agregar 200 mL de ácido acético glacial y ajustar el pH a 4,8. Almacenado bajo refrigeración es estable durante dos semanas.

Solución tampón trifosfato

Disolver 36,3 g de trishidroximetil aminometano (trizma) y 45,5 g de fosfato de sodio anhidro en 900 mL de agua, ajustar a pH 7 con ácido ortofosfórico y completar a un L con agua destilada. Almacenado bajo refrigeración es estable durante una semana.

Solución de amiloglucosidasa al 0,20 por ciento

Disolver 100 mg de amiloglucosidasa en 50 mL de agua destilada; debe conservarse bajo refrigeración y es estable una semana.

Solución de GOD-POD-ABTS

Disolver 100 mg de GOD (glucosa oxidasa), 3 mg de POD (peroxidasa) y 50 mg de ABTS (ácido 2-2' azinobis (3 etil bencetiazoline 6 sulfónico) en 100 mL de solución tampón trifosfato.

Solución estándar de glucosa (1,2 mg/mL)

Preparar una solución stock de glucosa de 1,2 mg/mL de igual forma que para la determinación de azúcares reductores. De la solución stock preparar estándares de 28,8, 57,6, 86,4 y 97,92 por ciento de la siguiente manera: en cuatro tubos de ensayo colocar 0,1 mL; 0,2 mL, 0,3 mL y 0,34 mL de la solución stock y completar el volumen hasta 10 mL con agua destilada.

Análisis

- Del material insoluble en alcohol pesar 0,25 g y disolver en 50 mL de agua destilada.
- Agregar 0,1 mL de α -amilasa, incubar la solución a 90 °C durante una hora.
- Dejar enfriar los tubos y filtrar a través de papel filtro Whatman N° 1 y diluir a 100 mL con agua destilada; diluir 50 veces.
- Tomar 0,75mL de la dilución anterior, agregar 0,2 mL de solución tampón acetato 2 M pH 4,8 y 0,05 mL de la solución amiloglucosidasa, posteriormente incubar la solución a 60 °C durante dos horas.
- Enfriar los tubos y agregar 2 mL de agua destilada y 2 mL de la solución GOD-POD-ABTS, agitar y dejar que la reacción suceda bajo oscuridad durante 30 minutos.
- Medir la absorbancia a una longitud de onda de 560 nm contra el blanco.
- Preparar un blanco: tres mL de agua doblemente deionizada y dos mL de solución GOD-POD-ABTS, 30 minutos bajo oscuridad.
- Preparar una curva estándar: tomar 1mL de cada estándar y agregar 2 mL de agua destilada y dos mL de solución GOD-POD-ABTS; de igual forma que las muestras mantener los estándares bajo oscuridad durante 30 minutos y medir la absorbancia a una longitud de onda de 560 nm.

Cálculos e interpretación de los resultados

$$\% \text{ Almidón} = \frac{LM}{LSt} [St_g] \times Fd \times \frac{100}{P} \times 10^{-6} \times 0,9$$

$$\% \text{ Almidón} = \frac{LM}{LSt} [St_g] \times 2,4$$

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)

P = Peso de muestra (0,25g)

0,9 = Factor de conversión de porcentaje de glucosa a porcentaje de almidón

Valores de referencia

El contenido de almidón generalmente se encuentra en el rango 92-96 por ciento. La pureza del almidón esta dada por el contenido de almidón; valores bajos son indicativos de un proceso de extracción ineficiente.

CONTENIDO DE AMILOSA/AMILOPECTINA

Técnica usada (ISO, 1987)

Después de dispersar, gelatinizar y reaccionar con yodo los gránulos de almidón, se mide colorimétricamente el complejo yodo-amilosa.

Preparación de la muestra

Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar, mezclar bien, moler la muestra hasta obtener un polvo muy fino, cuartear y tomar 20 g de almidón.

Materiales y equipos

- Balanza analítica con precisión de 0,0001 g
- Molino
- Espectrofotómetro
- Frascos volumétricos de 100 mL
- Pipetas volumétricas de 5, 4, 3, 2 y 1mL
- Agua destilada
- Etanol al 95 por ciento (v/v)
- Amilosa de papa purificada.
- Amilopectina de papa purificada

Hidróxido de sodio 1N

Disolver 4 g de hidróxido de sodio (NaOH) en agua destilada y completar a 100 mL.

Hidróxido de sodio 0,09N

Tomar 9 mL de NaOH 1N y completar a 100 mL con agua destilada.

Ácido acético 1N

Tomar 5,72 mL de ácido acético y completar a 100 mL con agua destilada.

Solución stock de yodo al 2 por ciento

Disolver 2 g de yoduro de potasio (KI) en un poco de agua destilada y agregar 0,2 g de yodo (I₂), disolver y completar a 100 mL con agua destilada.

Análisis

Preparación de la curva estándar de amilosa/amilopectina

- Pesar 100 mg de muestra de amilosa y 100 mg de amilopectina en frascos volumétricos de 100 mL.
- Agregar a cada frasco 1 mL de etanol al 95 por ciento y 9 mL de hidróxido de sodio 1 N, tapar y dejar a temperatura ambiente entre 18-24 horas.
- Completar a 100 mL con agua destilada.
- Preparar la curva estándar de acuerdo a los siguientes valores del Cuadro 5.

En un frasco volumétrico de 100 mL que contenga 50 mL de agua destilada agregar una alícuota de 5mL de cada punto de la curva estándar, 1 mL de ácido acético 1 N y 2 mL de solución de yodo al 2 por ciento, mezclar bien y completar a volumen con agua destilada.

- Almacenar los frascos bajo oscuridad durante 20 minutos y leer la densidad óptica a una longitud de onda de 620 nm.

CUADRO 5
Cantidades para preparación de la curva estándar

Amilosa (%)	Amilosa (mL)	Amilopectina (mL)	NaOH 0,09N (mL)
0	0	18	2
10	2	16	2
10	4	14	2
25	5	13	2
30	6	12	2

Cálculos e interpretación de los resultados

El cálculo del contenido de amilosa se realiza directamente de la curva estándar y se expresa

como porcentaje. El valor del contenido de amilosa en un almidón es el factor determinante para la calidad de los alimentos terminados.

Valores altos en el contenido de amilosa favorecen una mayor solubilidad, mayor viscosidad, mejor claridad del engrudo y mayor tendencia a la retrogradación de los geles.

El contenido de amilopectina se obtiene restando el contenido de amilosa del contenido de almidón.

Valores de referencia

En general, el contenido de amilosa en almidón de yuca varía entre 17-24 por ciento.

NITRÓGENO TOTAL

Técnica usada (AOAC, 2000)

El nitrógeno de las proteínas y otros compuestos se transforman a sulfato de amonio por medio de la digestión con ácido sulfúrico en ebullición. El residuo se enfría, se diluye con agua y se le agrega hidróxido de sodio. El amonio presente se desprende, se destila y se recibe en una solución de ácido bórico que luego es titulada con ácido clorhídrico estandarizado.

Preparación de la muestra

Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar, mezclar bien, moler la muestra hasta obtener un polvo muy fino, cuartear y tomar 20 g de almidón.

Materiales y equipos

- Molino
- Balanza analítica con una precisión de 0,001 g
- Aparato de digestión y destilación micro-Kjeldahl
- Tubos Kjeldahl
- Frascos Erlenmeyer de 250 mL
- Buretas
- Balón volumétrico de 100 y 1 000 mL
- Pipetas de 2 mL
- Agua destilada
- Etanol al 95 por ciento (v/v)
- Rojo de metilo
- Verde de bromocresol
- Sulfato de cobre
- Sulfato de potasio
- Ácido bórico 4 por ciento
- Ácido clorhídrico (36%)
- Ácido sulfúrico concentrado (93-98%)
- Hidróxido de sodio 1 N
- Hidróxido de sodio 40 por ciento (libre de nitrógeno)

Solución indicadora

0,1 por ciento rojo de metilo y 0,2 por ciento verde de bromocresol en alcohol al 95 por ciento

Solución estandarizada de ácido clorhídrico 0,02N

Tomar 1,6 mL de ácido clorhídrico en un balón volumétrico de 1 L y titular con una solución de hidróxido de sodio 1 N, tener en cuenta la nueva normalidad.

Mezcla catalizadora

Mezclar 7 por ciento de sulfato de cobre y sulfato de potasio.

Análisis

- Pesar por duplicado 0,1 g de almidón en polvo en los tubos Kjeldahl.
- Agregar 2 g de la mezcla catalizador y 4 mL de ácido sulfúrico concentrado.
- Calentar los tubos en el equipo Kjeldahl durante 30-45 minutos.
- Agregar 50 mL de agua destilada a los tubos antes de que se solidifique el residuo digerido.
- Recibir el destilado en frascos Erlenmeyer de 250 mL que contengan 100 mL de la solución de ácido bórico 4 por ciento.

- Agregar con cuidado 25 mL de hidróxido de sodio 40 por ciento (p/v) a cada tubo.
- Destilar 2/3 partes del contenido del tubo o hasta que se hayan recogido 100 mL del destilado.
- Titular el amonio recogido con ácido clorhídrico estandarizado, hasta obtener un color morado o que desaparezca del todo el color.
- Analizar simultáneamente con las muestras dos blancos.

Cálculos e interpretación de los resultados

Nitrógeno total (%) =

$$\frac{(\text{mL ácido gastado en muestra} - \text{mL ácido gastado en blanco}) \times 1.4 \times \text{NHCl}}{\text{Peso muestra (g)}}$$

NHCl = Normalidad del ácido clorhídrico

Proteína cruda (%) = nitrógeno total (%) \times 6.25

Valores altos en el contenido de nitrógeno total, indican un proceso de extracción de almidón no eficiente y puede afectar en la funcionalidad del producto final.

Valores de referencia

El contenido de nitrógeno total en el almidón no debe exceder de 0,064 por ciento.



Lámina 45
Espectrofotómetro

AZÚCARES REDUCTORES

Técnica usada (Cronin y Smith, 1979)

El principio de este método consiste en hacer reaccionar los grupos carbonilos libres de los azúcares reductores bajo condiciones alcalinas con el reactivo de Fehling y después cuantificar colorimétricamente.

Preparación de la muestra

- Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar, mezclar bien, cuartear y tomar 50 g de almidón.
- Moler muy bien los 50 g y pesar 2 g de almidón en un dedal de celulosa limpio e identificado y tapar con una mota de algodón.
- Transferir 150 mL de etanol al 85 por ciento (v/v) en un frasco de fondo redondo; colocar el dedal con la muestra en el extractor Soxhlet y dejar en reflujo durante dos horas.
- Remover el dedal de celulosa con la muestra y secar en un horno a 60 °C a peso constante. Este material es insoluble en etanol y debe ser almacenado en un desecador para posterior análisis de almidón.
- Extraer el etanol del material soluble hasta obtener una solución acuosa de la siguiente manera: destilar el volumen de etanol remanente y almacenar esta primera extracción, agregar 80 mL de agua destilada al balón y destilar el etanol; continuar destilando hasta extraer totalmente el etanol. Llevar esta solución a un volumen conocido (200 mL).

Materiales y equipos

- Balanza analítica con una precisión de 0,01 g
- Balones volumétricos de 200 mL
- Baño de agua para ebullición
- Cubetas de cuarzo
- Dedales de extracción de celulosa
- Desecador
- Dispensadores de 10 mL
- Embudos de vástago largo
- Espectrofotómetro (Lámina 45)
- Extractor Soxhlet
- Algodón
- Gradillas metálicas
- Horno que alcance temperatura mayor de 60 °C
- Pipetas automáticas de 5 mL
- Tubos cónicos graduados de 50 mL
- Vasos de precipitado de 100 mL y 200 mL
- Ácido clorhídrico 0,1 N
- Ácido sulfúrico
- Arsenato de sodio dibásico heptahidratado
- Bicarbonato de sodio
- Carbonato de sodio anhidro
- Etanol absoluto
- Fenoltaleína al 5 por ciento (p/v)
- Glucosa anhidra
- Molibdato de amonio
- Solución saturada de carbonato de sodio
- Sulfato cúprico pentahidratado

- Sulfato de sodio anhidro
- Tartrato de sodio y potasio

Reactivo de arsenomolibdato

Disolver 25 g de molibdato de amonio en 450 mL de agua, agregar 21 mL de ácido sulfúrico y una solución de 3 g de arsenato de sodio dibásico heptahidratado disueltos en 25 mL de agua; incubar la mezcla durante 24 horas a 37 °C en una botella oscura y tapada.

Reactivo de cobre de baja alcalinidad

Disolver 12 g de sal de Rochelle (tartrato de sodio y potasio) y 24 g de carbonato de sodio anhidro en 250 mL de agua doblemente deionizada; agregar con agitación una solución de 4 g de sulfato cúprico pentahidratado disueltos en un poco de agua, seguido de 16 g de bicarbonato de sodio; preparar aparte una solución de 180 g de sulfato de sodio anhidro en 500 mL de agua destilada (hervida y enfriada); mezclar las dos soluciones y diluir a 1 L.

Nota: no usar este reactivo hasta cinco días después de haber sido preparado, filtrar, descartar el sedimento y almacenar en botella oscura.

Análisis

- En tubos cónicos graduados a 50 mL agregar 0,5 mL por duplicado del extracto acuoso obtenido en la preparación de la muestra 2 mL de agua destilada y 2 mL de reactivo de cobre, agitar y tapar.
- Colocar los tubos en un baño de agua en ebullición durante 10 minutos.
- Enfriar los tubos y agregar 1 mL del reactivo de arsenomolibdato, mezclar bien y diluir a 50 mL con agua destilada.
- Medir la absorbancia a una longitud de onda de 520 nm contra un blanco y comparar con una curva estándar de glucosa.

Preparación del blanco

Agregar 0,5 mL de agua destilada en un tubo cónico graduado a 50 mL y continuar de igual forma que para la determinación de azúcares reductores.

Preparación de la curva estándar de glucosa (1,2 mg/mL)

a) preparar una solución stock:

secar glucosa a 60 °C, durante cuatro horas y pesar 120 mg de glucosa anhidra, disolver en 100 mL de agua hervida; conservar esta solución refrigerada.

b) preparar soluciones estándares de 1,2 a 4,8 por ciento de glucosa:

tomar de cada solución estándar 0,5 mL en un tubo cónico graduado a 50 mL y continuar de igual forma que para la determinación de azúcares reductores.

Cálculos e interpretación de los resultados

$$\% \text{ Glucosa} = \frac{LM}{LSt} \times [St_g] \times Fd \times \frac{100}{P} \times 10^{-6}$$

$$\% \text{ Glucosa} = \frac{LM}{LSt} \times [St_g] \times 0,02$$

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 (400)

P = Peso de muestra (2 g)

La presencia de azúcares reductores indica un proceso de extracción de almidón no eficiente.

Valores de referencia

En el almidón no debe haber presencia de azúcares reductores.

VALOR REDUCTOR ALCALINO

Técnica usada (Schoch, 1964)

En el almidón fresco la amilosa y la amilopectina solo contienen un grupo terminal reductor. Si la molécula de almidón se degrada, el número de grupos reductores terminales se incrementa. La estimación de este valor se basa en la capacidad del ferricianuro para reaccionar con grupos terminales reductores en las moléculas de almidón bajo condiciones alcalinas.

Preparación de la muestra

Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar, mezclar bien, cuartear y tomar 50 g de almidón.

Materiales y equipos

- Balanza analítica con una precisión de 0,0001 g
- Baño de agua con calentamiento constante
- Licuadora
- Probeta graduada de 200 mL
- Balones volumétricos de 100, 500 y 1 000 mL
- Vasos de precipitado de 500 y 1 000 mL
- Algodón
- Papel filtro Whatman N° 1
- Embudo
- Botellas oscuras
- Botellas resistentes al calor con tapa ventilada
- Agua destilada
- Ferricianuro de potasio
- Carbonato de sodio anhidro
- Ácido acético
- Sulfato de zinc heptahidratado
- Cloruro de potasio
- Yoduro de potasio
- Almidón de papa
- Tiosulfato de sodio 0,05 M

Reactivo de ferricianuro alcalino

Disolver 16,5 g de ferricianuro de potasio y 22 g de carbonato de sodio anhidro en un litro de agua destilada; almacenar durante dos días a temperatura ambiente, filtrar para remover el sedimento; la solución debe ser almacenada en una botella oscura a temperatura ambiente, es estable aproximadamente durante dos meses.

Solución sulfato de zinc-ácido acético

Disolver 70 g de cloruro de potasio, 20 g de sulfato de zinc y 200 mL de ácido acético en 1 L de agua destilada.

Solución de yoduro de potasio al 20 por ciento

Disolver 100 g de yoduro de potasio en 500 mL de agua destilada; almacenar en botella oscura protegida de la luz y descartar cuando se observen cambios de color amarillo.

Indicador de almidón

Preparar una pasta de almidón por calentamiento de 2 g de almidón de papa en 400 mL de agua destilada durante 15 minutos; agitar ocasionalmente para mantener los gránulos de almidón en suspensión hasta que se forme la pasta; enfriar la pasta a temperatura ambiente y homogenizar en una licuadora durante cinco minutos.

Análisis

- Pesar 200-250 mg de almidón (bs) en una botella resistente al calor.
- Agregar 50 mL de agua destilada.
- Calentar en un baño de agua que esté en ebullición, durante tres minutos, con agitación constante.
- Agregar 25 mL del reactivo de ferricianuro alcalino y cerrar la botella con una tapa ventilada.
- Mantener la botella en el baño en ebullición exactamente durante 15 minutos, con agitación ocasional.
- Enfriar rápidamente la botella.
- Agregar 60 mL de la solución sulfato de zinc y mezclar muy bien.
- Agregar 20 mL de la solución de yodo.
- Titular con la solución de tiosulfato de sodio.
- Correr un blanco igual que las muestras (sin calentamiento), titular y adicionar indicador de almidón antes del punto final (cuando el color amarillo del ferricianuro empieza a aclararse).

Cálculos e interpretación de los resultados

Número Ferricianuro =

$$\frac{(\text{Volumen blanco} - \text{Volumen muestra}) \times \text{Molaridad Tiosulfato} \times 10}{\text{Peso muestra (g) (bs)}}$$

Este valor reductor es útil para indicar la degradación de los gránulos a un nivel molecular; los almidones con un alto valor tendrán propiedades pobres de cocción, formando una pasta débil e inestable.

La forma más común de un aumento del número reductor es a causa de un ataque microbiano; sin embargo, los cambios químicos también pueden incrementar ese valor.

Valores de referencia

El valor reductor o número de ferricianuro de almidones frescos debe ser menor de uno.

ACIDEZ TITULABLE Y PH

Técnica usada (ISI, 1999)

El valor de pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una muestra, mientras que la acidez titulable es una medida de la cantidad de ácido presente. El pH es medido con un medidor de pH y la acidez titulable es determinada por titulación con hidróxido de sodio en el cambio final con fenolftaleína y es calculado por la presencia de ácidos presentes como ácido láctico.

Preparación de la muestra

Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar, mezclar bien, cuartear y moler 100 g de almidón.

Materiales y equipos

- Balanza analítica con una precisión de 0,01 g
- Medidor de pH (rango de 0 a 14)
- Bureta de 25 mL
- Erlenmeyers de vidrio de 250 mL
- Balones volumétricos de 100 y 200 mL
- Probeta
- Agitador magnético
- Embudo
- Soluciones tampón de pH 4,0 y 7,0
- Hidróxido de sodio 0,1 M
- Fenolftaleína 1 por ciento (p/v en etanol)
- Etanol
- Agua destilada

Análisis

Medida del pH

- calibrar el medidor de pH con las soluciones tampón pH 4,0 y pH 7,0
- mezclar 20,0 g de almidón en base seca con 100 mL de agua destilada (previamente hervida para eliminar el CO₂) durante 15 minutos
- filtrar a través de un papel filtro Whatman N°1
- tomar una alícuota y medir el pH con una cifra decimal

Medida de la acidez total

Tomar 50 mL del filtrado y titular con hidróxido de sodio 0,1 N utilizando fenolftaleína como indicador.

Cálculos e interpretación de los resultados

$$N_a \times V_a = N_b \times V_b$$

donde:

N_a = normalidad del ácido

V_a = volumen del ácido

N_b = normalidad de la base (NaOH)

V_b = volumen de la base

Con el volumen de neutralización se puede calcular fácilmente la concentración de la solución de los ácidos.

Registrar los resultados como miliequivalentes de ácido láctico por 100 g de muestra seca.

El valor del pH y de la acidez titulable son buenas medidas del grado de fermentación del almidón. El pH disminuye a 4,0 cuando sucede una fermentación ácida. El crecimiento de hongos libera amoníaco e incrementa el valor del pH.

Valores de referencia

El valor del pH en un almidón nativo debe estar entre 6,0-6,5.

La acidez titulable debe estar entre $2,2 \times 10^{-3}$ y 5×10^{-3} meq de ácido láctico/g de almidón.

CONTENIDO DE CENIZAS

Técnica usada (AOAC, 2000)

Este método analítico proporciona una estimación del material mineral presente en la muestra de almidón incluyendo metales, sales y trazas de elementos; se utiliza la pérdida gravimétrica por calentamiento.

Preparación de la muestra

Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar, mezclar bien, cuartear y tomar 50 g de almidón.

Materiales y equipos

- Balanza analítica con una precisión de 0,01g
- Crisoles de porcelana
- Desecador
- Mufla

Análisis

- Pesar aproximadamente 1,0 g de almidón en un crisol de porcelana que ha sido previamente lavado, secado en un horno y pesado.
- Colocar el crisol de porcelana con la muestra en la mufla e incinerar a 550 °C durante tres horas y media.
- Enfriar el crisol y las cenizas en un desecador hasta tener peso constante.
- Pesar el crisol con las cenizas y calcular la cantidad de cenizas.
- Expresar los resultados como porcentaje de cenizas totales.

Cálculos e interpretación de los resultados

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{\text{Peso de las cenizas (g)} \times 100}{\text{Peso de muestra (g)}}$$

El contenido de cenizas puede proveer una estimación de la calidad del almidón: altos niveles de cenizas indican contaminación de la muestra.

Valores de referencia

En general, el contenido de cenizas en el almidón no debe exceder de 0,12 por ciento.

Capítulo 9

Análisis microbiológico

CONTEO TOTAL

Técnica usada (ICONTEC, 1998)

Este método es comúnmente utilizado para determinar el número de células bacterianas viables o de unidades formadoras de colonias (UFC) en el almidón; se basa en la presunción de que cada célula bacteriana puede crecer en un medio sólido formando colonias y el número de colonias desarrolladas en este medio de cultivo puede corresponder al número de células bacterianas aerobias en una cantidad determinada de muestra.

Preparación de la muestra

Cada cinco costales de 25 kg tomar con cucharas o cucharones estériles muestras al azar de almidón de yuca, mezclar bien, cuartear y conservar en frascos estériles o bolsas nuevas.

Materiales y equipo

- Balanza analítica con una precisión de 0,1 g
- Mechero
- Cajas Petri estériles
- Incubadora 35 ± 2 °C
- Autoclave
- Contador de colonias
- Tubos de ensayo estériles con tapa rosca
- Pipetas de 1 y 10 mL estériles
- Erlenmeyer de 250 mL estériles
- Bandeja estéril
- Gradilla para tubos
- Frascos limpios estériles o bolsas plásticas nuevas
- Cuchara, cuchillo, tenedor, tijeras y pinza estériles
- Agua destilada

Agua peptonada concentración simple

- Disolver 1 g de peptona y 0,85 g de cloruro de sodio en 1 L de agua destilada y ajustar a un pH de 6,8-7.

Agar cuenta gérmenes (agar peptona de caseína glucosa extracto de levadura)

- Disolver el medio de cultivo en 1 000 mL de agua destilada, calentar hasta ebullición, esterilizar en autoclave durante 15 minutos a 121 °C.

Análisis

- Pesar 10 g de almidón directamente en un Erlenmeyer que contenga 90 mL de agua peptonada simple concentración, agitar y dejar en reposo 10 minutos (dilución 10^{-1}).
- Transferir 1 mL de la dilución 10^{-1} a un tubo con tapa rosca que contenga 9 mL de agua peptonada simple concentración para obtener la dilución 10^{-2} .
- Transferir 1 mL de la dilución 10^{-2} a un tubo con tapa rosca que contenga 9 mL de agua peptonada doble concentración para obtener la dilución 10^{-3} .

- Inocular 1 mL de cada dilución en cajas de Petri debidamente marcadas.
- Verter en cada caja de Petri 15 mL de agar cuenta gérmenes previamente fundido a una temperatura de 45 °C.
- Mezclar por rotación en forma circular hacia uno y otro lado (no debe transcurrir más de 20 minutos).
- Una vez solidificado el agar, invertir las cajas de Petri e incubarlas a 35 ± 2 °C durante 48 horas.
- Hacer control de esterilidad del medio de cultivo incubando una caja de Petri que contenga agar cuenta gérmenes.
- Hacer control de esterilidad del agua peptonada 0,1 por ciento, incubando una caja de Petri que contenga 1 mL de agua peptonada y agar cuenta gérmenes.

Cálculos e interpretación de los resultados

Seleccionar la caja correspondiente a la dilución que presente un crecimiento entre 30 y 300 colonias. Con contador de colonias, contar el número de colonias en la caja de Petri y calcular de acuerdo a las diluciones el número de microorganismos mesófilos aerobios por gramo de producto.

Ejemplo:

350 colonias en dilución $10^{-1} = 3\ 500$.

26 colonias en dilución $10^{-2} = 2\ 600$.

Promedio = $(3\ 500 + 2\ 600)/2 = 3\ 050$ colonias/g.

Registrar el recuento como 3 050 UFC/g.

Si no hay colonias en la caja correspondientes a la dilución de mayor concentración, informar el recuento como menor de uno multiplicado por el factor de dilución más concentrada.

Ejemplo:

Dilución 10^{-1} : ausencia de colonias; registrar el recuento como menor de 10 UFC/g.

Dilución 10^{-2} : ausencia de colonias; registrar el recuento como menor de 100 UFC/g.

En el caso de que dos diluciones consecutivas estén dentro del rango 30 a 300 colonias, se hace el recuento para cada una de las diluciones y se reporta el promedio de los valores obtenidos, a menos de que el recuento mayor contenga dos veces al menor, en este caso se reporta el recuento menor.

El número de bacterias mesófilas en el almidón es un indicador microbiano de su calidad y pone en manifiesto las fuentes de contaminación durante el proceso de producción.

Valores de referencia

Los valores permitidos de recuento de bacterias aerobias mesófilas en el almidón están en el rango de 200 000-300 000 UFC/g.

CONTEO DE *ESCHERICHIA COLI*

Técnica usada (ICONTEC, 1997)

Este grupo de microorganismos comprende varios géneros de la familia *Enterobacteraceae* que están ampliamente difundidos en el agua y el suelo; también son habitantes del tracto intestinal del hombre y animales de sangre caliente.

El grupo de lactosas positivas o coli-aerógenas son un grupo de bacterias que se definen más por sus pruebas de aislamiento que por criterios taxonómicos y se caracterizan por su capacidad de fermentar la lactosa produciendo ácido y gas.

Preparación de la muestra

Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar, mezclar bien, moler la muestra hasta obtener un polvo muy fino, cuartear y tomar 20 g de almidón.

Materiales y equipos

- Cámara de siembra estéril
- Incubadora a 34-36 °C
- Autoclave
- Mechero
- Balanza analítica
- Baño de agua
- Contador de colonias
- Tubos de fermentación Durham
- Tubos con tapa rosca estériles
- Gradillas para tubos
- Cajas Petri
- Erlenmeyer de 250 mL
- Botellas de vidrio con tapa
- Cinta autoclavable
- Pipetas de 1 y 10 mL estériles
- Cuchara, cuchillo, tenedor, tijeras y pinzas estériles
- Agua destilada estéril
- Agua peptonada a simple concentración (disolver 1 g de peptona y 0,85 g de cloruro de sodio en 1 L de agua destilada y ajustar a un pH de 6,8-7).
- Caldo lactosa bilis verde brillante al 2 por ciento
- Caldo triptófano
- Agar eosina azul de metileno (EMB)
- Agar Endo
- Agar violeta cristal rojo neutro bilis (VRBA)
- Reactivo de Kovac's

Análisis

Prueba Presuntiva

- pesar 10 g de almidón directamente en un tubo con tapa rosca estéril que contenga 90 mL de agua peptonada simple concentración obteniendo una dilución de 10^{-1} .
- transferir 1 mL de la dilución 10^{-1} a un tubo con 9 mL de agua peptonada estéril a simple concentración obteniendo una dilución 10^{-2} .
- transferir 1 mL de la dilución 10^{-2} a un tubo con 9 mL de agua peptonada estéril a concentración simple obteniendo una dilución 10^{-3} .
- inocular 1 mL de cada dilución a tubos que contengan 10 mL de caldo lactosado bilis verde brillante al 2 por ciento, realizar tres repeticiones por dilución.
- agitar suavemente los tubos e incubar los tubos a 35 ± 2 °C durante 24-28 horas.

Prueba confirmativa

- Confirmar que los tubos de la prueba presuntiva con producción de gas en el caldo lactosado bilis verde brillante al 2 por ciento son positivos a organismos del grupo coliforme, sembrando por estría una asada de cada uno de los tubos en la superficie de una placa de agar eosina azul de metileno, agar violeta rojo neutro bilis (VRBA) o agar Endo.
- Incubar las placas invertidas a 35 ± 2 °C durante 24 horas.
- Leer las colonias típicas de coliformes.
- Anotar el número de tubos confirmados como positivos para organismos coliformes en cada dilución.
- Calcular el número más probable (NMP) de la misma manera que la prueba presuntiva.

Determinación de Coliformes Fecales

- Transferir de cada uno de los tubos positivos, con producción de gas de la prueba presuntiva, una asada de cultivo en caldo lactosa bilis verde brillante al 2 por ciento contenido en un tubo de fermentación Durham y otra asada en caldo triptófano.
- Mezclar suavemente los tubos e incubarlos a $44,5 \pm 0,5$ °C durante 48 horas en un baño de agua con rotación, teniendo en cuenta de que el nivel de agua del baño sobrepase el nivel del medio de cultivo.
- Leer la prueba de MacKenzie de la siguiente manera:
 - observar la producción de gas del caldo lactosa bilis verde brillante al 2 por ciento;
 - revelar el caldo triptófano, de los tubos gas positivo, adicionando 0,2 mL del reactivo de Kovac's, agitar suavemente y observar la presencia de un anillo rojo cereza en la superficie o el color original de medio cuando la prueba es negativa;
 - considerar como coliformes de origen fecal los que demuestren positividad en ambas pruebas: gas positivo e indol positivo;
 - confrontar los resultados con la tabla de NMP.

Cálculos e interpretación de los resultados

Leer como positivos para coliformes totales todos aquellos tubos que presenten turbidez y desplazamiento del medio en la campana Durham por producción de gas y calificar de la siguiente manera:

- Si en los tres tubos de la dilución 10^{-1} todos presentan crecimiento y gas, se cuenta 3.
- Si en los tres tubos de la dilución 10^{-2} dos presentan crecimiento y gas, se cuenta 2.
- Si en los tres tubos de la dilución 10^{-3} solo uno presenta crecimiento y gas, se cuenta 1.

En la tabla NMP se revisan los resultados 3, 2, 1 y si se obtiene un valor de 150 UFC de coliformes totales/g se debe continuar con la prueba confirmativa.

En caso de que en ninguno de los nueve tubos se presentara crecimiento ni producción de gas, se registraría como coliformes totales < 3.

Después de realizar la prueba para coliformes de origen fecal, expresar los resultados como NMP de coliformes fecales/g.

La presencia de este grupo de microorganismos en el almidón es signo de mala calidad higiénica en el proceso, falta de higiene de los manipuladores, recontaminación después del proceso y aún de contaminación fecal.

Valores de referencia

El valor de *Escherichia coli* en el almidón debe ser menor de 10 UFC/g.

CONTEO DE HONGOS Y LEVADURAS

Técnica usada (ICONTEC, 1997)

Por medio de la formación de colonias en un medio de cultivo se puede determinar la presencia de hongos y levaduras (microorganismos) en el almidón.

Preparación de la muestra

Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar con cucharas o cucharones estériles y en condiciones adecuadas con el mechero, y conservar en frascos estériles o bolsas nuevas.

Materiales y equipos requeridos

- Cámara de siembra estéril
- Incubadora a 34-36 °C
- Autoclave
- Mechero
- Balanza analítica
- Tubos con tapa de rosca estériles
- Gradillas para tubos
- Cajas de Petri
- Erlenmeyer de 250 mL
- Botellas de vidrio con tapa
- Pipetas de 1 y 10 mL estériles
- Cuchara, cuchillo, tenedor, tijeras y pinzas estériles
- Agua destilada estéril
- Agar OGY (Agar oxitetraciclina glicosa extracto de levadura)
- Agar extracto de levadura glucosa cloranfenicol

Agua peptonada

Disolver 1 g de peptona y 0,85 g de cloruro de sodio en 1 L de agua destilada y ajustar a un pH de 6,8-7.

Análisis

- Pesar 10 g de almidón directamente en un Erlenmeyer que contenga 90 mL de agua peptonada simple concentración, obteniendo una dilución de 10^{-1} , agitar y dejar en reposo 10 minutos.
- Transferir 1 mL de la dilución 10^{-1} a un tubo con 9 mL de agua peptonada estéril a simple concentración, obteniendo una dilución 10^{-2} .
- Inocular 1 mL de cada dilución en cajas de Petri debidamente identificadas y verter 15 mL de agar OGY o agar extracto de levadura glucosa cloranfenicol, fundido y mantenido a 45 °C.
- Mezclar por rotación en forma circular hacia uno y otro lado (no deben transcurrir más de 20 minutos).
- Una vez solidificado el agar, invertir las cajas de Petri, envolverlas con papel e incubarlas a temperatura ambiente (22 ± 2 °C) durante 5-7 días.
- Hacer control de esterilidad del medio de cultivo incubando una caja de Petri que contenga agar OGY o agar extracto de levadura glucosa cloranfenicol.
- Hacer control de esterilidad del agua peptonada 0,1 por ciento incubando una caja de Petri que contenga 1 mL de agua peptonada y agar OGY o agar extracto de levadura glucosa cloranfenicol.

Cálculos e interpretación de los resultados

Seleccionar las dos cajas correspondientes a la misma dilución que presenten entre 20 y 1 000 colonias. Contar todas las colonias de cada caja de Petri, hallar el valor promedio y multiplicar por el valor de la dilución.

Se registra como unidades formadoras de colonia UFC/g de almidón.

Los hongos y levaduras se desarrollan en condiciones desfavorables para el crecimiento bacteriano como pH bajo, alto contenido de sales y azúcares, bajo contenido de humedad y baja temperatura de almacenamiento. Estos tienen algunas características similares a las bacterias cuando contaminan los alimentos, tales como la capacidad de alteración y la producción de metabolitos tóxicos.

Valores de referencia

El valor de recuento de hongos y levaduras en el almidón no debe ser mayor de 1 000-5 000 UFC/g.

Capítulo 10

Otros análisis

CONTENIDO DE ÁCIDO CIANHÍDRICO EN YUCA - MÉTODO CUALITATIVO

Técnica usada (Williams y Edwards, 1980)

Este análisis utiliza tolueno para facilitar la volatilización del cianuro el cual reacciona con la solución de picrato-alkalino impregnada en una tira de papel de filtro. El cambio de color y de intensidad formado en la tira de papel de filtro se utiliza como referencia para una detección cualitativa del cianuro potencial liberado en la raíz de yuca.

Preparación de la muestra

Cortar una rodaja del centro de la raíz de yuca y tomar un trozo de la parte central de la rodaja.

Materiales y equipos

- Balanza analítica con una precisión de 0,01 g
- Tubos de ensayo de 15 mL con tapa (no tapa rosca)
- Papel de filtro Whatman N° 1
- Cuchillo
- Tabla para cortar muestras
- Gradillas para tubos
- Recipiente de plástico o de acero inoxidable para almacenar solución de picrato-alkalino
- Gotero
- Pinza de acero inoxidable
- Tijeras
- Caja de pañuelos faciales desechables
- Agua destilada
- Tolueno

Reactivo 1

Pesar 2,5 g de carbonato de sodio (Na_2CO_3) y disolver en 100 mL de agua destilada.

Reactivo 2

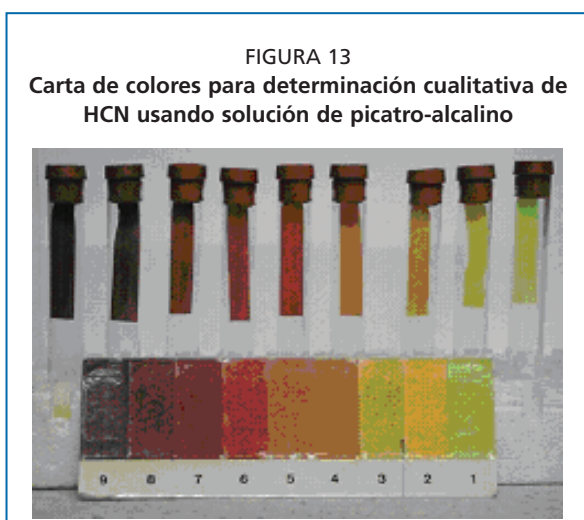
Pesar 0,5 g de ácido pícrico ($\text{C}_6\text{H}_3\text{N}_3\text{O}_7$) y disolver en 100 mL de agua destilada; filtrar si es necesario.

Solución de picrato-alkalino

Tomar cantidades iguales de los reactivos 1 y 2 y mezclar

Análisis

- Cortar tiras de papel filtro Whatman N°1 de 1 cm de ancho por 6 cm de largo.
- Sumergir las tiras de papel de filtro en la solución de picrato alkalino hasta que queden bien impregnadas de esta solución y poner a escurrir para evitar exceso de solución.
- Colocar 1 g de muestra en el fondo del tubo de ensayo.
- Añadir 5 gotas de tolueno.



CUADRO 6
Contenido de HCN según la escala de colores del método cualitativo

Escala de color	Contenido de HCN (ppm) base húmeda
1	< 10
2	10-15
3	15-25
4	25-40
5	40-60
6	60-85
7	85-115
8	115-150
9	> 150

- Suspender inmediatamente la tira de papel de filtro impregnada con la solución de picrato-alkalino en el tubo y sostener con la tapa; evitar el contacto de la tira de papel de filtro con las paredes del tubo o que quede fuera de este.
- Dejar a temperatura ambiente por 24 horas.
- Realizar un blanco de igual forma que las muestras.
- Comparar las tiras de papel de filtro con la tabla de colores.

Cálculos e interpretación de los resultados

Realizar la lectura en la carta de colores para determinación de HCN, usando solución de picrato-alkalino, según la intensidad de color adquirida por la tira de papel de filtro (Figura 13) y determinar según la escala de 1-9 del Cuadro 6 el contenido aproximado de HCN. A mayor intensidad de color rojo, mayor contenido de HCN en la muestra.

Valores de referencia

El rango del contenido de HCN en las raíces de yuca en base fresca puede variar desde 10 hasta 800 ppm.

CONTENIDO DE ÁCIDO CIANHÍDRICO EN YUCA - MÉTODO CUANTITATIVO

Técnica usada (Bradbury, Egan y Bradbury, 1999)

El contenido de cianuro total en raíces de yuca y subproductos de yuca puede ser determinado utilizando un «kit» simple de picrato. El análisis consiste en la autohidrólisis dentro de un frasco cerrado, por medio de la reacción de Guignard la cual produce un cambio en la coloración de las tiras de papel de filtro, las que se comparan contra una escala patrón. El color en la tira de papel de filtro es disuelto en agua y cuantificado por medio de un espectrofotómetro.

Preparación de la muestra

Cortar una rodaja del centro de la raíz de yuca y tomar un pedazo de la parte central de la rodaja.

Materiales y equipos

Balanza analítica con una precisión de 0,01g

- Cuchillo
- Tabla
- Tubos de ensayo de 10 mL
- Espectrofotómetro
- Pipetas de 5 mL

Solución de picrato-alkalino

Mezclar en partes iguales soluciones de carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 2,5 por ciento y ácido pícrico ($\text{C}_6\text{H}_3\text{N}_3\text{O}_7$) al 2,5 por ciento

«Kit» para análisis de HCN (Lámina 46)

Frascos plásticos con tapa rosca

Pipetas plásticas de 1 mL

Discos de papel de filtro con solución tampón pH 6,0

Tiras de papel de filtro impregnadas con solución de picrato-alkalino adheridas a tiras de acetato

Discos de papel de filtro impregnados con solución tampón pH 6,0 y la enzima linamarasa

Discos de papel de filtro impregnados con 50 ppm de cianuro

Análisis

Los análisis semicuantitativos siguen los siguientes pasos.

Preparación de la muestra

- Pesar 100 mg de la muestra y colocar lo más pronto posible en un frasco plástico que contenga un disco de papel de filtro impregnado de solución tampón fosfato pH 6,0.
- Agregar 0,5 mL de agua destilada.
- Colocar inmediatamente una tira de papel de filtro impregnada con solución de picrato-alkalino adherida a la tira de acetato.
- Tapar el frasco plástico.

Preparación del blanco

- Colocar en un frasco plástico un disco de papel de filtro impregnado de solución tampón fosfato pH 6,0.

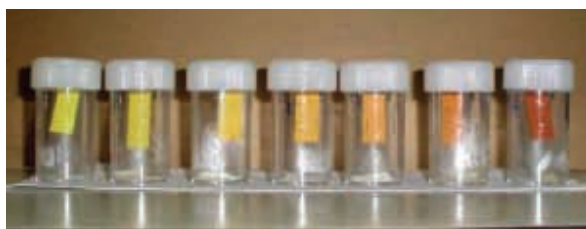


Lámina 46

«Kits» para determinación de cianuro semicuantitativo y cuantitativo

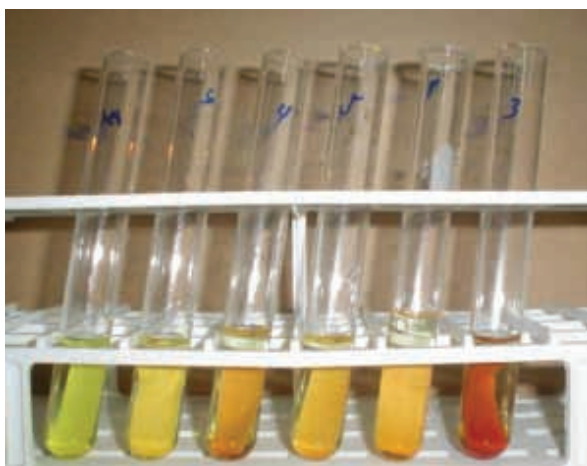
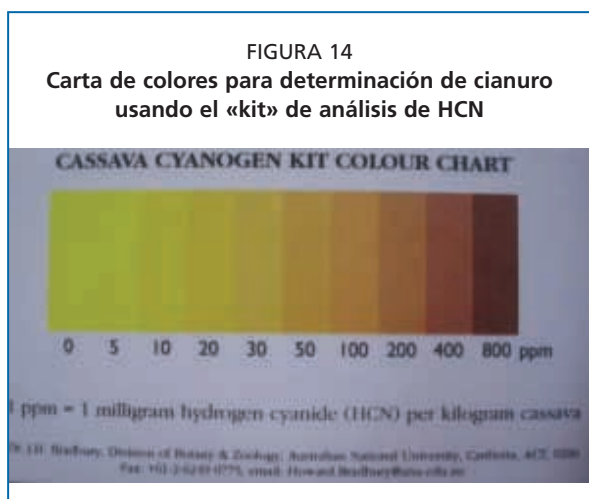


Lámina 47
Análisis cuantitativo de HCN utilizando el «kit» de análisis de HCN



- Mantener durante 30 minutos con agitación ocasional.
- Medir la absorbancia en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 510 nm y comparar contra el blanco.

Cálculos e interpretación de los resultados

Análisis cualitativo

Realizar la lectura en la carta de colores para determinación de cianuro usando el «kit» de análisis de HCN (Figura 14) y cuantificar de acuerdo a la intensidad de color adquirida por la tira de papel de filtro. A mayor intensidad de color, mayor contenido de HCN en la muestra.

Análisis cuantitativo

$\text{HCN (ppm) bh} = \text{Absorbancia muestra} \times 396$

Valores de referencia

El rango del contenido de HCN en las raíces de yuca en base fresca o húmeda (bh) puede variar de 10 hasta 800 ppm.

- Agregar 0,5 mL de agua destilada.
- Colocar inmediatamente una tira de papel de filtro impregnada con solución de picrato-alcalino adherida a la tira de acetato.
- Tapar el frasco plástico.

Preparación de estándar

- Colocar en un frasco plástico un disco de papel de filtro impregnado de solución tampón fosfato pH 6,0 y la enzima linamarasa y un disco de papel de filtro impregnado con 50 ppm de cianuro.
- Agregar 0,5 mL de agua destilada.
- Colocar inmediatamente una tira de papel de filtro impregnada con solución de picrato-alcalino adherida a la tira de acetato
- Tapar el frasco plástico.
- Dejar los frascos plásticos de muestras, estándar y blanco a temperatura ambiente por 24 horas.
- Comparar las tiras de papel de filtro, introducidas en los frascos plásticos, de la muestra, del estándar y del blanco con la carta de colores para determinación de cianuro usando el «kit» de análisis de HCN.

Análisis cuantitativo

- Remover cuidadosamente las tiras de papel de filtro y colocarlas en un tubo de ensayo (Lámina 47).
- Agregar 5 mL de agua destilada.

VOLUMEN ESPECÍFICO

Técnica usada (Vanhamel *et al.*, 1991)

Este método se basa en la capacidad de expansión de una mezcla almidón agrio de yuca-agua cuando es horneada, aumentando así su volumen.

Preparación de la muestra

Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar, mezclar bien y tomar 50 g de almidón.

Materiales y equipos

- Balanza con una precisión de 0,1 g
- Horno con rango de temperatura 0-280 °C
- Moldes pequeños de pastelería de dimensiones: 20 mm de altura, 60 mm de diámetro externo y 55 mm de diámetro interno
- Cubos de madera con volúmenes conocidos
- Aceite de cocina
- Paño de cocina
- Esferillas de vidrio
- Equipo para determinación de volumen específico: construido en acrílico transparente consta de dos cajas colectoras unidas por un conducto de sección transversal de 30 × 30 mm y longitud 250 mm. Cada caja mide 70 × 70 mm y 50 mm de alto y está cubierta por una pirámide truncada de 40 mm de altura y bases 70 × 70 mm y superior 30 × 30 mm; ambas cajas colectoras están unidas por un conducto de sección cuadrada de 30 × 30 mm y altura 250 mm. Sobre la pirámide superior hay una lámina de acero inoxidable deslizable que sirve de compuerta para descargar de una caja colectoras a otra las esferillas de vidrio que serán desplazadas por el pan (Lámina 48).



Lámina 48
Equipo para determinación de volumen específico

Análisis

- Precalentar el horno a 270 °C.
- Engrasar los moldes de pastelería con una gota de aceite y esparcirla con un paño de cocina.
- Pesar 10 g de almidón en el molde.
- Agregar 12 g de agua y homogeneizar la mezcla formando un pan.
- Hornear durante 25 minutos.
- Enfriar los panes de 5 a 10 minutos a temperatura ambiente y pesarlos.
- Colocar las esferillas de vidrio en la caja colectoras superior y llenarla completamente.
 - Calibrar el equipo para la determinación de volumen específico usando los cubos de madera de volúmenes conocidos, haciendo marcas de volumen en el conducto vertical.
 - Cuando el equipo se coloca verticalmente, la caja colectoras vacía es la inferior y la caja colectoras llena de esferillas es la superior.
- Colocar el pan en la base de la caja colectoras superior para que las esferillas caigan sobre el pan.
- Agitar suavemente el equipo para asegurar que las esferillas llenen completamente los espacios vacíos.
- Medir el espacio que las esferillas ocupan en el conducto vertical, controlado con las marcas de las calibraciones. Este «volumen desplazado» es usado para calcular el volumen del peso específico del pan.

Cálculos e interpretación de los resultados

$$\text{Volumen específico} = \frac{\text{Volumen desplazado (mL)}}{\text{Peso del pan (g)}}$$

Esta técnica también es utilizada para determinar el volumen específico de pan elaborado con harina de trigo o con harina compuesta trigo-yuca.

Valores de referencia

Almidón agrio de yuca de bajo poder de expansión: 3-9 (mL/g)

Almidón agrio de yuca de mediano poder de expansión: 10-12 (mL/g)

Almidón agrio de yuca de alto poder de expansión: 13-18 (mL/g)

ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE MATERIA SECA Y DE ALMIDÓN EN YUCA. MÉTODO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Técnica usada (Toro y Cañas, 1979)

Este método consiste en pesar una muestra de raíces de yuca en el aire y luego pesarla en el agua para obtener una gravedad específica y en base en una correlación estandarizada entre estos dos pesos obtener los contenidos de materia seca y almidón en raíces de yuca fresca.

Preparación de la muestra

- Tomar de tres a cuatro raíces frescas de yuca por variedad o lote (aproximadamente 3 kg) preferiblemente recién cosechadas, de diferentes tamaños y grosores.
- Limpiar las raíces con el lomo de un cuchillo y retirar la tierra adherida, las raicillas y el pedúnculo.

Materiales y equipos

- Balanza con capacidad de hasta 3 kg, preferiblemente con 0,01 g de precisión (Lámina 49)
- Una canastilla de malla metálica con capacidad para 3 kg
- Gancho de alambre en forma de «S» acoplado a la balanza de reloj para colgar la canastilla
- Cuchillo
- Recipiente que pueda contener suficiente agua para que la canastilla y la muestra queden completamente sumergidas

Análisis

- Colgar la canastilla de malla metálica en el gancho y tarar la balanza.
- Colocar en la canastilla aproximadamente 3 kg de raíces frescas de yuca.
- Registrar el peso fresco de las raíces en el aire (*PFRAI*) (Lámina 49).
- Sumergir la canastilla vacía en un recipiente lleno de agua, la cual debe quedar totalmente sumergida y equilibrada. Tarar la balanza.
- Colocar las mismas raíces, que fueron pesadas en el aire, dentro de la canastilla.
- Registrar el peso fresco de las raíces en el agua (*PFRAG*) (Lámina 50).

Cálculos e interpretación de los resultados

Una vez registrados los pesos de las raíces en el aire y en el agua se calcula la gravedad específica empleando la siguiente fórmula:

$$GE = \frac{PFRAI}{PFRAI - PFRAG}$$

GE: Gravedad específica

PFRAI: Peso fresco de raíces en el aire

PFRAG: Peso fresco de raíces en el agua

El resultado se debe calcular con cuatro cifras decimales. En base a experiencias realizadas en el CIAT (1978) se construyó una tabla que permite hallar el porcentaje de materia seca y el porcentaje de almidón, para variedades de yuca de 10 a 12 meses de edad para las condiciones normales de producción de yuca en Colombia y para valores de gravedad específica entre 1,0200-1,1900. A partir



Lámina 49
Peso de las raíces frescas



Lámina 50
Peso de raíces frescas de yuca en el aire de yuca en el agua

de los datos de la tabla generada, dadas condiciones especificadas, se generó la siguiente correlación para estimar el contenido de materia seca:

$$\% MS = (GE \times 158,26) - 142,05$$

Es aconsejable pesar aproximadamente la misma cantidad de raíces de yuca para todas las muestras procurando que no sea inferior a tres kilos. Esta es una medida preventiva para evitar que se obtenga un valor erróneo ya que esta correlación se realizó usando este peso.

Por medio de la diferencia entre 100 por ciento y el porcentaje de *MS* se calcula el porcentaje de humedad de las raíces de yuca. Dado que el contenido de almidón en raíces frescas de yuca constituye alrededor del 85-90 por ciento del contenido de materia seca, el contenido de almidón puede ser estimado, tomando un promedio de este rango (0,875), por medio de la siguiente fórmula:

$$\% AL = \% MS \times 0,875$$

El método de gravedad específica es un método sencillo y eficiente para estimar de forma rápida los contenidos de materia seca, humedad y almidón en raíces frescas de yuca y es una práctica útil y al alcance de cualquier agricultor de yuca a nivel de finca o agroindustria de procesamiento de yuca.

Valores de referencia

El contenido de materia seca en raíces frescas de yuca varía entre 20-45 por ciento, el contenido de humedad entre 55-80 por ciento y el contenido de almidón entre 17,5-39,4 por ciento.

DETERIORO FISIOLÓGICO EN RAÍCES DE YUCA

Técnica usada (Wheatley, Lozano y Gómez, 1985)

Esta técnica consiste en forzar el deterioro fisiológico por acción del oxígeno en raíces de yuca, desde el extremo proximal, protegiendo el extremo distal para mantener su humedad y evitar que el deterioro fisiológico comience desde este extremo. El deterioro fisiológico de las raíces se evalúa y cuantifica después de tres días de almacenamiento.

Preparación de la muestra

- Cosechar con cuidado tres plantas del cultivo tratando de que las raíces no sufran daños mecánicos.
- Limpiar las raíces con el lomo de un cuchillo y retirar la tierra adherida, las raicillas y el pedúnculo.
- Evaluar entre 10 y 20 raíces de yuca por lote.

Materiales y equipos

- Película de plástico de cloruro de polivinilo (PVC)
- Tijeras
- Cuchillo de acero inoxidable
- Tabla para picar
- Bandas de caucho
- Toallas de papel

Análisis

- Seleccionar por lo menos 10 raíces de yuca con un tamaño mínimo de 18 cm, sin daños mecánicos y sin pudrición pre cosecha.
- Descartar los extremos distal y proximal de las raíces cortándolos con un cuchillo, de manera que la sección de raíz a evaluar sea de aproximadamente de 15 cm de largo.
- Cubrir el lado distal con una película de PVC para mantener la humedad y evitar que el deterioro fisiológico comience desde esta superficie y así forzar el desarrollo desde el extremo proximal. De esta forma el deterioro se desarrollará solamente desde el extremo proximal.
- Almacenar las raíces en un lugar protegido del sol y de la lluvia pero expuesto al aire libre.
- Evaluar después de tres días de almacenamiento para evitar la contaminación microbiana.

Cálculos e interpretación de los resultados

➤ Cortar transversalmente las raíces en secciones a los 2, 4, 6, 8, 10, 12 y 14 cm a partir del extremo proximal, limpiar el cuchillo después de cada corte. Se obtendrá un total de siete secciones para evaluar.

- Asignar valores numéricos de acuerdo a una escala de 0 a 10 en la superficie proximal de cada corte (Lámina 51). Los valores de la escala de deterioro corresponden 0 a 0 por ciento de deterioro, 2 a 20 por ciento de deterioro, 4 a 40 por ciento de deterioro y así sucesivamente hasta 10 que corresponde a 100 por ciento de deterioro. Normalmente se considera el área periférica de los cortes transversales ya que el centro de la raíz raramente se deteriora.



Lámina 51

Secciones transversales de yuca ilustrando valores según escala de deterioro

- Es necesario evaluar entre 10 a 20 raíces de cada tratamiento o variedad y obtener el promedio de la suma total de los valores de las siete secciones transversales evaluadas.
- El deterioro máximo posible será de 70 (100 por ciento de deterioro en la sección o sea valor 10 en la escala).
- El porcentaje de deterioro se determina como:
Porcentaje de deterioro en yuca = $\frac{\Sigma \text{valores en la escala de deterioro}}{70} \times 100$.

Las raíces con mayor susceptibilidad al deterioro fisiológico mostrarán las estrías características de esta clase de deterioro desde el extremo proximal hasta el extremo distal. Las raíces con menor susceptibilidad al deterioro fisiológico mostrarán los síntomas de deterioro en las secciones cercanas al extremo proximal, pero pocos o ningún síntoma en las secciones distantes de dicho extremo, es decir en el extremo distal.

Valores de referencia

El deterioro fisiológico en yuca varía de 0 a 100 por ciento; este valor depende de la edad del cultivo al momento de la evaluación y de los factores edafoclimáticos en los cuales crecieron las plantas.

Capítulo 11

Factores de calidad de la yuca y requerimientos del almidón de yuca

La calidad es el conjunto de las condiciones y las características de un producto que lo hacen cumplir con las disposiciones legales de composición fisicoquímica y microbiológica y con el gusto o la aceptabilidad y satisfacción del consumidor. Para todos los usos y mercados, la raíz de yuca debe cumplir requisitos de calidad especiales y al desarrollar nuevas variedades en una región dada es necesario conocer las exigencias de calidad para la utilización actual y potencial del producto.

REQUERIMIENTOS DE CALIDAD DE LA YUCA SEGÚN SU USO FINAL

Los criterios de calidad para las raíces de yuca que se ofrecen en el mercado fresco son exigentes, aunque varían considerablemente de región a región. La calidad de las raíces para este uso fresco es diferente, o menos exigente, que la calidad requerida para el mercado para consumo animal o el mercado para procesamiento industrial.

Existen tres tipos importantes de calidad para la selección de las raíces de yuca en un mercado determinado:

Calidad culinaria

La calidad culinaria está relacionada con el tiempo de cocción o preparación de las raíces y con su aceptación por degustación que manifiesta el consumidor. Para hacer esta prueba, se seleccionan al azar en el campo varias plantas de yuca, se cosechan las raíces y se escogen varias al azar para someterlas a un proceso de cocción. La buena calidad culinaria de la yuca depende de los siguientes factores:

- Tiempo de cocción: no mayor de 30 minutos; al final, la yuca cocida debe tener una consistencia intermedia.
- Sabor: ni amargo ni dulce; el primero significa que las raíces tienen un contenido alto de ácido cianhídrico y el segundo que tienen alto contenido de azúcar.
- Fibras: no debe tener ni tampoco tejidos lignificados dentro del parénquima.
- Consistencia: la pulpa cocinada debe ser firme, sin porciones duras ni vidriosas; el almidón que contiene debe ser blanco o de color amarillento y nunca transparente.
- Contenido de cianuro: el contenido de cianuro total de la pulpa para raíces consumidas en fresco no debe exceder de 60 ppm (Wheatley, 1991a).

Calidad morfológica

La calidad morfológica comprende ciertas características de la forma de la raíz que están relacionadas con su aptitud, según la variedad, para usarla en cualquier técnica de conservación. Las raíces de yuca con las siguientes especificaciones sufren menos pérdidas por daños físicos durante la cosecha, la selección y el almacenamiento:

- Raíces cilíndricas o cónicas, con pedúnculo bien desarrollado: sufren pocos daños físicos durante la cosecha y el almacenamiento.
- Pedúnculos más largos que cortos: son difíciles de separar del tallo (el «tocón») y, cuando se separan, casi siempre se rompe la cáscara y se daña el parénquima.

- Raíces redondas: las raíces de otras formas sufren daños en la cáscara durante el transporte y el almacenamiento.
- Raíces cortas: las raíces largas se parten con facilidad durante la cosecha.

Calidad sanitaria

Las raíces sanas no presentan pudriciones externas o internas. Por razones de calidad, las raíces que presenten pudriciones deben descartarse pues, una sola de ellas, aún con una afección incipiente, puede causar la pérdida total del lote de raíces. No siempre es fácil detectar estas pudriciones. Por ejemplo, las pudriciones internas debidas a la «viruela de la yuca» que es transmitida por una chinche subterránea, no son visibles desde el exterior y es necesario pelar las raíces para verlas. Algunas enfermedades del tallo llegan a infectar la raíz a través del pedúnculo lignificado. Por consiguiente, es necesario seleccionar cuidadosamente las raíces después de la cosecha.

Dependiendo de su utilización final, la yuca tiene requerimientos específicos en las industrias a las cuales se destine. En el Cuadro 7 se describen los principales requerimientos de calidad y su importancia para las raíces de yuca que exige el mercado de producción de almidones y dietas para animales, para el consumo en fresco y para el procesamiento industrial para alimentación humana.

Almidones y dietas animales

El principal requisito para estas industrias es producir variedades con alto potencial de rendimiento y alto contenido de materia seca que permitan obtener una materia prima a precios competitivos; con este tipo de material se facilita la extracción del almidón o el proceso de secado de las raíces. Las raíces amarillas serían más aptas para dietas animales

CUADRO 7
Requisitos de calidad de raíces de yuca según su uso

Parámetro o atributo	Almidones y dietas animales	Consumo fresco	Proceso industrial para alimentación humana
Rendimiento de campo	(1)	(2)	(1)
Contenido de cianuro	(3) La yuca amarga es preferida; requiere menos vigilancia contra robo en el campo.	(1) Sólo se aceptan las variedades de yuca dulce.	(1) Sólo se aceptan las variedades de yuca dulce.
Color del parénquima	(2) Para almidones debe ser blanco. Para alimentos balanceados de color anaranjado (mayor contenido de carotenos)	(1) En general se prefiere blanco, aunque en algunas regiones las raíces amarillas tienen aceptación.	(2) Actualmente, se procesan raíces de corteza blanca. Las de color amarillo, sin embargo, ofrecen algunas ventajas nutricionales.
Aspecto externo de la raíz	(3) No es requisito. La yuca debe tener buena calidad sanitaria.	(1) Importante cuando a las raíces se les somete a técnicas de conservación.	(3) No es requisito. La yuca debe tener buena calidad sanitaria.
Tolerancia a plagas y enfermedades de la raíz	(2) Solo en cuanto a su efecto sobre el rendimiento en el campo	(2) Si afectan la prestación externa de la raíz influirá en el precio en el mercado de consumo en fresco.	(1) Si afectan la prestación externa de la raíz influirá en el precio en el mercado para uso industrial.
Contenido de materia seca	(1) Debe ser lo más alto posible. El precio del producto se ve afectado por este criterio.	(3) Las variedades de consumo fresco generalmente tienen niveles intermedios de materia seca. Altos niveles afectan la calidad culinaria.	(1) En general se prefiere alto contenido de materia seca. La proporción de azúcares es importante para el procesamiento.
Calidad culinaria	(3) Se prefiere incluso un material de baja calidad, pues este no requerirá de vigilancia contra robo en el campo.	(1) Es un criterio fundamental para el consumo humano.	(2) Lo importante es la calidad del producto procesado. Raíces de yuca de calidad culinaria intermedia pueden ser excelentes para el sector industrial.

Nota: importancia relativa de cada requerimiento de calidad. (1) muy importante, (2) medianamente importante, (3) menos importante.

Fuente: Ceballos *et al.* (2002).

y las blancas preferidas por la industria del almidón. Las raíces amarillas, que tienen alto contenido de caroteno, reducen la necesidad del suplemento exógeno de carotenos o de colorantes en las dietas del sector avícola. Las variedades utilizadas pueden ser amargas, dado que los procesos de extracción de almidón eliminan completamente el ácido cianhídrico en las aguas de lavado. Los procesos de secado y peletizado de concentrados para animales deben garantizar una eficiente eliminación del HCN.

Consumo fresco

Es el mercado tradicional de raíces frescas en galerías y supermercados. Para este destino, las variedades utilizadas son las dulces (bajo contenido de glucósidos cianogénicos), con un contenido de materia seca intermedio y, sobre todo, con excelente calidad culinaria. El aspecto de las raíces (forma, color de la cáscara, color del parénquima o pulpa) es fundamental. La productividad o rendimiento, en este caso, tiene menor peso, a diferencia de la yuca destinada a la industria del almidón o a los alimentos balanceados.

Proceso industrial para alimentación humana

Es una industria creciente representada por las croquetas precocidas y congeladas y por las hojuelas de yuca frita. En estos casos, la productividad es muy importante y las características de la raíz deben ajustarse a los requerimientos de la industria. Para las croquetas, por ejemplo, las variedades deben ser dulces, con poca fibra y con un nivel de materia seca generalmente mayor que para el consumo fresco. Un nivel alto de azúcares en la raíz afecta la calidad de las hojuelas en el proceso de fritura ya que el producto sufre reacciones de caramelización y pardeamiento no enzimático.

FACTORES QUE INCIDEN EN LA CALIDAD DE LA YUCA

Existen diferentes factores que pueden incidir sobre la calidad de la yuca como la variedad, la edad de la planta, los efectos ambientales como plagas y enfermedades, la distribución de la precipitación, temperaturas (extremas y promedio), las deficiencias del suelo, la fertilización del mismo y la rotación del lote, la densidad de siembra y los cultivos asociados, entre otros (Wheatley, 1991a).

Efecto de la variedad

La variabilidad genética hace que se presenten rangos de contenido en los componentes más importantes de la raíz tales como carbohidratos (almidón y azúcares), HCN y fenoles. Estudios realizados en CIAT (1977) demostraron que es factible aumentar el contenido de almidón mediante el mejoramiento genético. Sin embargo, no existen estudios relacionados con la calidad del almidón (propiedades de textura o cocción) que permitan extraer conclusiones acerca de su heredabilidad. La variación genética de la acumulación de fenoles después de la cosecha determina diferencias entre los clones con respecto a su susceptibilidad al deterioro fisiológico. Los contenidos de HCN varían de una variedad a otra y dentro de una misma variedad de una planta a otra.

Efecto de la edad de la planta

Dos características hacen que la edad de la yuca influya sobre su calidad: es un cultivo de ciclo largo y no tiene un período definido de maduración. El rendimiento de las raíces se puede mantener más o menos constante durante varios meses, pero su calidad para el consumo humano varía. Después de los 12 meses, en las condiciones del trópico bajo, aumenta el contenido de fibra de la raíz de yuca. Además, la susceptibilidad de la raíz a las pudriciones precosecha también aumenta con la edad. Los contenidos de almidón, azúcares, HCN, fibra y proteína en el parénquima no cambian con la edad de la planta. Sin embargo, se ha encontrado que aumenta el tiempo de cocción y que la calidad culinaria disminuye con la edad de la planta.

Efecto ambiental

El ambiente interacciona con la base genética de la planta para determinar la calidad de la raíz. A pesar de tratarse de un cultivo de propagación vegetativa, en la yuca se observa gran variación entre plantas de un mismo clon sembradas en un solo lote y cosechadas en un tiempo dado, en cuanto a su rendimiento en el campo y calidad. Aunque esto se debe en parte a microvariaciones en las condiciones edafoclimáticas y bióticas, la calidad de la estaca sembrada también juega un papel importante. Por ello, se debe seleccionar adecuadamente el material de siembra para asegurar rendimientos satisfactorios, recomendación que debe regir también para la calidad de la raíz.

Hay múltiples plagas y enfermedades que atacan la yuca pero los conocimientos de sus efectos sobre la calidad de las raíces son limitados. En el caso del superalargamiento, los clones más susceptibles tienen mayor tendencia a disminuir el contenido de materia seca que los clones resistentes; en ausencia de esta enfermedad no se han presentado deficiencias en el contenido de materia seca.

Estudios de fertilización con nitrógeno y potasio han tenido efectos a veces positivos y a veces negativos sobre el contenido de almidón, la materia seca y la calidad culinaria. Los niveles altos de nitrógeno han afectado negativamente la calidad para el consumo humano. Estudios de aplicaciones conjuntas de los tres minerales mostraron resultados erráticos ya que el almidón y la materia seca en algunos casos aumentan y en otros disminuyen. Los resultados anteriores se deben, posiblemente, a que el efecto de la fertilización está muy relacionado con el estado inicial del suelo; donde hay deficiencias es más probable que las aplicaciones de abonos tengan un efecto positivo sobre la calidad. Las fertilizaciones en suelos fértiles podrían provocar un crecimiento excesivo de la parte aérea de la planta y perjudicar la calidad de las raíces. Por otra parte, un período de descanso del terreno aparentemente mejora la calidad de la yuca; se ha encontrado que en lotes con más de ocho años de descanso el contenido de materia seca y la calidad culinaria fue mejor que en lotes con menos de cinco años de descanso; el contenido de HCN fue menor pero las raíces resultaron más susceptibles al deterioro fisiológico (CIAT, 1984).

Otras variables como la alta densidad de siembra y el estrés de agua conllevan a un menor contenido de almidón. El efecto del estrés sobre la calidad que se observa con frecuencia es el fenómeno llamado «vidriosidad»; en este caso la raíz fresca se ve aguada y con poco almidón, y al cocinarla se torna dura y vidriosa o traslúcida. Se observa que la vidriosidad está asociada con una disminución de los contenidos de la materia seca y el almidón y con un aumento en el contenido de los azúcares. También se ha encontrado que los cultivos asociados no afectan el contenido de almidón.

RELACIÓN ENTRE LA CALIDAD DE LA YUCA Y SUS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

Algunos parámetros de calidad son fáciles de relacionar con la composición química de la raíz; es el caso del sabor amargo que se debe principalmente al HCN y en parte a los fenoles, o el de la textura fibrosa que se relaciona con la fibra del parénquima. Sin embargo, la mayoría de los factores son difíciles de relacionar en esta forma porque son de carácter netamente subjetivo e involucran varios componentes.

La textura y cocción de las raíces de yuca están muy relacionadas con la calidad del almidón. Sin embargo, no es solo el almidón el único elemento que determina estas características, sino también otros factores relacionados con propiedades reológicas y físicas, o sea con los cambios que ocurren durante la cocción del almidón.

Los compuestos fenólicos, involucrados en los procesos de deterioro fisiológico poscosecha, reducen la calidad de la yuca fresca cambiándole el sabor y el olor al cocinarla. El contenido de HCN también es importante, ya que las raíces que presentan alto contenido de este compuesto retienen una cierta cantidad después de la cocción que perjudica el sabor del alimento y retiene la toxicidad.

La calidad de la yuca seca para consumo humano o animal depende no solamente de la materia prima, sino también del procesamiento. Un tiempo de secado prolongado puede dar como resultado un producto de baja calidad, debido al tiempo que deja disponible para que se efectúen cambios enzimáticos relacionados con el deterioro fisiológico, el crecimiento de hongos y levaduras y la producción de taninos. La calidad también puede ser afectada por los contenidos de humedad, azúcares, fenoles, presencia de aflatoxinas y fibra en la raíz fresca (Wheatley, 1991b).

REQUERIMIENTOS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL ALMIDÓN DE YUCA

La calidad del almidón es el factor de calidad más importante de la raíz de yuca ya que del mismo dependen la calidad culinaria, la calidad después del secado para consumo humano y animal y la calidad para usos industriales.

La variabilidad genética y los factores edafoclimáticos y bióticos afectan el contenido de almidón. Las variaciones entre la proporción de amilosa y amilopectina se relacionan con cambios en la calidad culinaria. Durante el proceso de cocción el comportamiento del almidón con respecto a la solubilidad, al volumen y al poder de absorción de agua tienen relación con la calidad de la yuca cocida. Además, existen otras características del almidón como las reológicas (viscosidad, gelatinización) que presentan relación con la calidad de la yuca. Se han estudiado cambios en la viscosidad del almidón, debido al deterioro poscosecha de la yuca y se ha observado que esta es mayor en las raíces a los dos o tres días después de la cosecha que en las raíces recién cosechadas.

En el proceso de extracción de almidón de yuca, se debe realizar la inspección y control de la calidad de las raíces en cada una de las etapas del proceso para, de este modo, alcanzar los estándares de calidad que exige el mercado. Dado que en el sector industrial no existe una norma única de requisitos de calidad para el almidón de yuca, cada empresa define sus requisitos dependiendo de la aplicación final del almidón. En el Cuadro 8 se presentan los requisitos fisicoquímicos y en el Cuadro 9 los requisitos microbiológicos estándares que debe tener el almidón de yuca para ser usado en el sector industrial en general. Estos requisitos pueden ser una guía para orientar a los procesadores de almidón de yuca y constatar si el producto obtenido reúne o no la calidad deseada en el mercado.

Por medio de análisis fisicoquímicos y microbiológicos y los resultados obtenidos, es posible indagar sobre la razón por la que un parámetro analizado se aparta del valor estándar o en cual etapa de proceso se puede estar fallando durante la obtención del producto (almidón, harina de yuca u otros derivados de la yuca).

Si las raíces de yuca son procesadas con algún tipo de deterioro fisiológico o microbiano, no es posible garantizar que los procesos de lavado y extracción eliminen completamente los problemas asociados a este tipo de deterioro y, muchas veces, esto se refleja en un aumento del conteo total bacteriano en el análisis microbiológico, afectando así la calidad del producto final. Cuando el almidón o harina de yuca es almacenado por encima de 13 por ciento de humedad se favorece la formación de hongos y levaduras y a la vez su susceptibilidad a generar reacciones

CUADRO 8
Requisitos fisicoquímicos del almidón de yuca

Análisis fisicoquímico	Rango estándar
Almidón (%)	92-98
Humedad (%)	10-13
Cenizas (%)	< 0,12
Nitrógeno total (%)	< 0,064
pH	4,5-5,5
Pulpa (mL)	0,5
Temperatura de gelatinización (°C)	58,5-70,0
Viscosidad máxima (UB)	400-900
Color	Blanco
Tamaño (% que debe pasar malla 100)	99

CUADRO 9
Requisitos microbiológicos del almidón de yuca

Análisis microbiológico	Rango estándar
Conteo total (UFC/g)	200 000-300 000
Conteo de coliformes (UFC/g)	< 10
Conteo de hongos y levaduras (UFC/g)	1 000-5 000

de fermentación las cuales aumentarán la acidez titulable y disminuirán el pH del almidón.

Cuando en el proceso de extracción de almidón se usan raíces de yuca con parénquima o corteza morada u oscura, es posible que se pueda encontrar una coloración del almidón; por ello es preferible usar variedades de yuca de cortezas claras. Otra razón de la coloración, puede ser debida al uso de temperaturas muy altas de secado o a que el almidón haya sufrido hidrólisis liberando azúcares reductores que pueden generar reacciones de pardeamiento con el calor. Además, las altas temperaturas de secado pueden modificar las propiedades reológicas del almidón, particularmente variaciones en la viscosidad, porque se puede presentar gelatinización del almidón y, por ende, formación de grumos en el producto final.

Cuando el proceso de extracción de almidón es realizado a escala artesanal o semimecanizada o con tecnologías solares para el secado del almidón, este presenta un alto contenido de cenizas como resultado del método de secado; se incrementa aún más cuando se realiza sobre patios de concreto que cuando se realiza sobre bandejas. Un color grisáceo del almidón es un indicativo de la presencia de fermentación, unido al aumento de acidez titulable y pH bajo. Con el uso de estas tecnologías, el almidón puede tener un alto contenido de proteína que lo hace susceptible a la descomposición por el ataque de varios microorganismos. Asimismo, puede tener un alto contenido de fibra como reflejo del sistema de filtrado o extracción que se emplea; por lo general, tamaño de partícula es muy grande y sólo el 10 por ciento pasa malla 100.

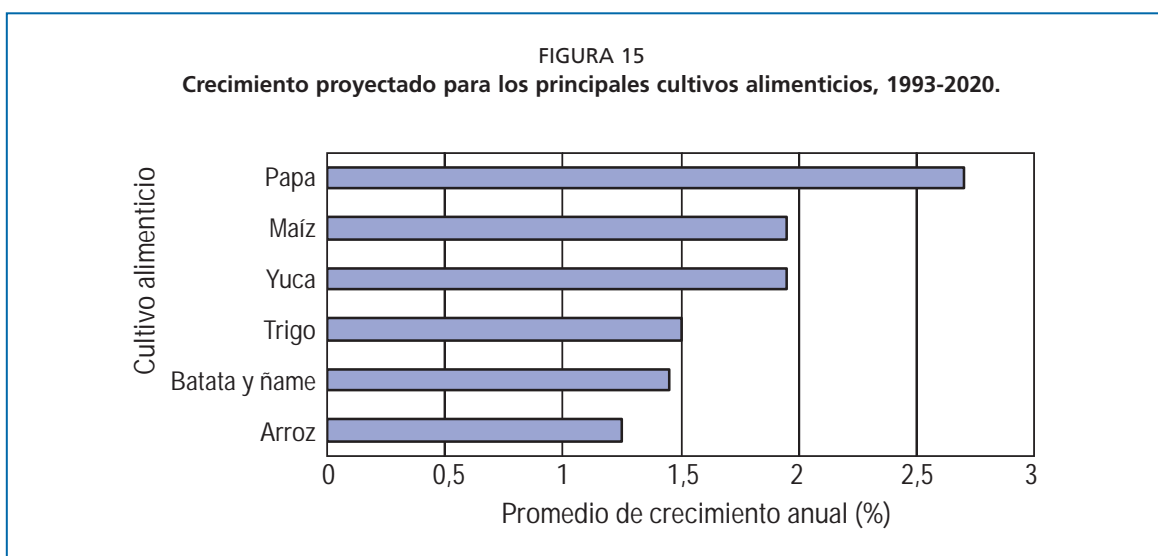
Capítulo 12

Otras fuentes de almidón

Un buen número de tubérculos, raíces y bulbos comestibles forman una parte importante de la alimentación de millones de personas en diferentes partes del mundo. En general, los cereales como el maíz, el trigo y el arroz constituyen la base de alimentación de muchas poblaciones pero en los países tropicales la yuca, la batata, el sago, el arrurruz y el ñame son los alimentos más importantes de esta clase. En la mayoría de los países en desarrollo se cultivan las raíces y tubérculos y en la mayoría de los países desarrollados se consumen los cereales.

Las especies citadas generalmente son fáciles de cultivar y presentan altos rendimientos por unidad de superficie. Contienen grandes cantidades de almidón y, por lo tanto, son una buena fuente de energía. Dependiendo de su origen tienen características físicoquímicas y funcionales particulares. Sin embargo, como alimentos básicos los tubérculos y raíces son inferiores a los cereales debido a que tienen un mayor contenido de agua y menos proteínas, minerales y vitaminas. Generalmente contienen menos del dos por ciento de proteína, mientras que los cereales contienen alrededor de un 10 por ciento, si bien el taro y las batatas contienen hasta un seis por ciento de proteína de buena calidad.

Todos los cultivos básicos están en constante evolución, no solo en lo que se refiere a su composición genética sino también en sus relaciones sociales, económicas y medioambientales con las personas que los cultivan, venden y consumen. Esto se aplica aún más enfáticamente a la yuca, papa, batata, ñame y otras raíces y tubérculos. Estos cultivos juegan múltiples funciones cambiantes en la alimentación y en la economía industrial y evolucionan en respuesta al crecimiento de la población y su relocalización; cambian según el bienestar financiero, los impactos en el medio ambiente y las demandas para el reconocimiento de las mujeres, los grupos comunitarios y los agricultores que insisten en jugar un papel importante en el proceso de la investigación agrícola. La Figura 15 muestra el crecimiento proyectado de los cultivos de papa, maíz, yuca, trigo, batata, ñame y arroz en los países en desarrollo en el período 1993-2020.



Fuente: Tomado de Scott et al. (2000).

CUADRO 10

Valor total de productos alimenticios seleccionados para países en desarrollo en 1993 y 2020

Producto	1993 ^a				2020			
	Precio (\$EEUU/t)	Producción (millones t)	Valor (millones \$EE.UU)	(%) del total	Precio (\$EEUU/t)	Producción (millones t)	Valor (millones \$EE.UU)	(%) del total
Papa	160	94,3	15 094	4,1	145	194,0	28 131	4,9
Batata y ñame	91 ^b	155,9	14 185	3,9	82 ^b	230,0	18 879	3,3
Ñame	135 ^c	31,2 ^c	4 209 ^c	1,1 ^c	115 ^c	66,9 ^c	7 693 ^c	1,4 ^c
Yuca ^d	54 ^b	172,4	9 307	2,5	48 ^b	290,3	13 937	2,4
Todas las raíces y tubérculos		422,6	38 586	10,5		714,6	60 946	10,5
Trigo	148	249,3	36 901	10,0	133	372,7	49 575	8,6
Maíz	126	231,6	29 181	7,9	123	390,1	47 977	8,3
Otros granos	122 ^b	105,9	12 912	3,5	106 ^b	171,1	18 133	3,1
Arroz ^e	286	341,4	97 628	26,5	266	475,6	126 510	21,9
Todos los cereales		928,1	176 622	48,0		1 409,5	242 195	41,9
Soya	263	57,7	15 176	4,1	235	106,2	24 958	4,3
Sub total		230 384					328 099	
Carne de vaca	2 023	22,1	44 583	12,1	1 771	43,9	77 805	13,4
Carne de cerdo	1 366	39,3	53 624	14,6	1 212	81,3	98 594	17,0
Carne de oveja y cabra	2 032 ^b	6,0	12 225	3,3	1 845 ^b	10,7	19 815	3,4
Carne de pollo	1 300	21,0	27 321	7,4	1 159	46,8	54 253	9,4
Todas las carnes		88,3	137 752	37,4		182,8	250 467	43,3
Total			368 136	100,0			578 567	100,0
Porcentaje de raíces y tubérculos en todos los productos				10,5				10,5
Porcentaje de raíces y tubérculos en cereales +raíces y tubérculos + soya				16,7				18,6

Fuente: Tomado de Scott *et al.* (2000).

^a Promedio para los tres años: 1993 equivale a 1992-94.

^b Precio compuesto.

^c Precios, producción, y crecimiento de ñame sólo son estimados externos IFPRI IMPACT, pero basados en TAC (1996, 1997), IMPACT simulaciones y tendencia histórica.

^d Representa yuca y otras raíces y tubérculos como taro. Para países desarrollados, las cantidades de yuca sola por encima de 97 por ciento del total.

^e La producción para arroz ha sido multiplicada por 0,65 para estimar las cantidades listadas de arroz molido. El arroz molido es más fácilmente comparable a otros productos para los propósitos de cálculos de la producción. Igualmente, estos precios son para arroz molido.

Las proyecciones del valor económico de los principales productos alimenticios indican que, en base a la mejor información de datos disponibles, existe la probabilidad de que aumente su importancia en las décadas futuras. Estos cálculos tienen en consideración la producción de casi todos los principales productos alimenticios en el sistema alimentario global: cereales, raíces y tubérculos, soya y carne.

El porcentaje de las raíces y tubérculos en el valor proyectado de todos los productos considerados permanece constante comparando 1993 y 2020. Este resultado representa el efecto combinado de un muy rápido crecimiento en la producción y una ligeramente más lenta disminución en los precios de estos productos, con la mayor parte de incremento (0,75) debido a la producción más rápida (Scott *et al.*, 2000).

La industria del almidón es muy variable y diversificada. Los almidones son altamente sustituíbles pero el almidón de yuca tiene propiedades funcionales que le dan competitividad frente a almidones de otras fuentes. Sin embargo, el precio y la localización son los principales factores que determinan la demanda de los almidones y su uso.

El procesamiento de los almidones de maíz y trigo genera subproductos de alto valor agregado en la forma de gluten, salvado, fibra y germen. Los subproductos del procesamiento de almidones de yuca y papa son de baja calidad y valor. Por otra parte,

CUADRO 11
Comparación cualitativa de parámetros de almidones

Parámetro	Maíz	Trigo	Papa	Maíz ceroso	Yuca
Productividad de la materia prima	***	***	***	***	*
Competitividad del precio de la materia prima	***	**	*	***	***
Eficiencia de conversión de almidón	***	**	*	***	**
Valor de subproductos	**	***	*	**	*
Costo de eliminación de residuos	*	*	**	*	***
Competitividad del precio del almidón	***	**	*	**	***
Aplicación en la industria alimenticia	**	**	***	***	***
Aplicación en la industria no alimenticia	***	***	**	**	**
Aplicación en edulcorantes	***	**	*	***	**
Avances en investigación y desarrollo	***	***	***	***	*

*** alto; ** intermedio; * bajo

Fuente: IFAD y FAO (2004).

los residuos líquidos del procesamiento de la yuca requieren un proceso costoso para el reciclaje. Por lo tanto, la comparación del costo de procesamiento de almidón llega a ser altamente compleja cuando se toma en cuenta el costo y beneficio de sus subproductos. El Cuadro 11 presenta una comparación de los factores de producción, procesamiento y mercado de varios almidones en una perspectiva cualitativa.

Los almidones de yuca incorporan varias características intrínsecas o propiedades funcionales especialmente con respecto a los almidones de cereales; eso se traduce en ventajas comparativas relativas para promover su procesamiento. Es necesario enfatizar que la mayoría de estas ventajas no son absolutas, ya que los almidones de cereales después de manipulaciones adicionales podrían adquirir características similares a un costo adicional.

Por consiguiente, el elemento clave es que el almidón nativo de la yuca sin la manipulación o procesamiento adicional o modificación incorporada tenga estas funcionalidades especiales. La situación actual en materia de investigación y desarrollo del almidón de yuca incluye el seguimiento de las principales características especiales que favorecen que sea solicitado por el mercado, especialmente en la industria de alimentos y en menor extensión en industrias no alimenticias tales como la industria farmacéutica. Estas características son la alta transparencia y la conveniencia para alimentos cocinados listos y salsas; la alta resistencia a la acidez y la buena aplicabilidad para salsas ácido-básicas y mermeladas, entre otros. Otras características son alta viscosidad la cual es especialmente importante para postres, pudines, sopas, rellenos, gomas; además, una alta pureza, ausencia de gluten, fosfatos, aceites, grasas y proteínas, todo lo cual es altamente deseable para alimentos de dietas bajas en grasa, alimentos sin gluten y alimentos antialérgicos (IFAD y FAO, 2004).

La extensa investigación sobre yuca desarrollada en Tailandia demostró que cuando se compara la conveniencia y representación de los almidones de papa, maíz, trigo, yuca y maíz ceroso en la fabricación de una amplia gama de grupos de productos alimenticios, el almidón de yuca ocupó el segundo lugar, después del almidón de papa. Si se toma en cuenta el precio más alto del almidón de papa, la competitividad del almidón de yuca es muy fuerte. Sin embargo, las ventajas en las propiedades funcionales comparativas relativas podrían ser superadas por el progreso tecnológico. Al mismo tiempo, la investigación y desarrollo pueden promover más oportunidades a la yuca. Además, con la aplicación de la biotecnología moderna y la ingeniería genética la yuca puede tener excelentes propiedades para la industria, por ejemplo para termobioplásticos de bajo costo.

Un efecto indirecto adicional de estas características especiales de la yuca es la implicancia relativa de las barreras comerciales. En la mayoría de los países existen

diferentes regulaciones para las importaciones de almidones nativos y modificados. Los últimos, al ser de mayor valor agregado, son sujetos a mayores impuestos. Por consiguiente, un almidón nativo exhibiendo características de un almidón modificado, será gravado a la tasa más baja de los almidones nativos. Esto se traslada como un ahorro significativo para la industria de alimentos. Además del impacto económico de este hecho, hay otras consecuencias ambientales, ya que el almidón nativo de yuca será un «producto natural» que es opuesto a los almidones modificados.

Se han propuesto dos estrategias principales para el desarrollo del mercadeo de almidón de yuca en el mercado de Europa. La implementación de esas dos estrategias, sin embargo, demandará inversiones adicionales considerables y toma de decisiones astutas, organización y administración. El primer requerimiento consiste de un despliegue financiero considerable que podrá llegar en un momento difícil, dado que las condiciones financieras en el sureste de Asia han experimentado una caída significativa, reduciendo la confianza de los inversores y la disponibilidad y términos de las líneas de crédito adicionales. Será esencial una posterior integración de alianzas para desarrollar negocios conjuntos («joint ventures») con inversionistas extranjeros (Europa y Estados Unidos de América). Esto no solamente facilitará el acceso al capital necesario sino que también mejorará significativamente la capacidad de mercadeo y la red de distribución del producto, lo cual es esencial para penetrar en forma exitosa y capturar el mercado europeo existente y/o el mercado para nuevos productos. Además, están los productores asiáticos suficientemente organizados para enfrentar las condiciones de la cultura corporativa (empresarial) facilitando la fijación de precios y para enfrentar la naturaleza oligopólica del mercado. El fortalecimiento de las alianzas comerciales junto con el procesamiento y el mercado serán vitales para sobrevivir (IFAD y FAO, 2004).

A continuación se presenta información genérica sobre varios cultivos de los que es posible obtener almidón.

MAÍZ

El maíz (*Zea mays* - *Poaceae*) es un alimento muy importante en toda América y gran parte de África. Se originó en el continente americano donde se cultivó por primera vez; fue considerado esencial entre las grandes civilizaciones azteca y maya, mucho antes de la llegada de Colón y los colonizadores. Las semillas fueron llevadas a Europa y más tarde a África, donde es ahora importante en la dieta de muchos países africanos. Casi la mitad de la cosecha mundial de maíz se recoge en los Estados Unidos de América, pero el 80 por ciento de la cosecha queda dentro de la explotación agrícola donde se utiliza para alimentar el ganado. A pesar de ello, tres cuartas partes de las exportaciones mundiales de maíz proceden de los Estados Unidos de América. La variedad de los productos derivados del maíz es mayor que la de cualquier otro cereal y se pueden obtener, entre otras cosas, harina, almidón, aceite, alcohol y copos de maíz.

El maíz es un cultivo muy difundido por diversas razones pero sobre todo porque tiene un alto rendimiento por unidad de superficie, crece en áreas cálidas y moderadamente secas (más secas que aquellas requeridas para el cultivo del arroz, aunque no tan secas como aquellas en que pueden cultivarse sorgo y mijo), madura rápidamente y tiene cierta resistencia natural al daño causado por las aves. Es una especie que presenta una amplia variabilidad; algunas variedades maduran en poco más de dos meses, mientras otras necesitan casi un año. El uso comercial del maíz híbrido ha permitido obtener rendimientos mayores por hectárea. El color del grano puede ser rojizo, blanco o amarillo o, algunas veces, púrpura.

El Cuadro 12 presenta datos seleccionados de producción, área sembrada y rendimiento de los principales productores para el año 2005. En ese año, la producción mundial fue de 692 millones de toneladas, representando el cultivo con mayor crecimiento mundial. Los Estados Unidos de América produjeron 280 millones de toneladas, siendo el mayor productor mundial gracias a la tecnificación

y altos rendimientos del cultivo que permiten obtener grandes volúmenes de abastecimiento con calidad estandarizada, posicionando su liderazgo en los mercados agrícolas e industriales.

El maíz tiene tres aplicaciones posibles: alimento humano, forraje y materia prima para la industria. Como alimento humano, se puede utilizar todo el grano, maduro o no, o bien se puede elaborar con técnicas de molienda en seco para obtener un número relativamente amplio de productos intermedios, como por ejemplo sémola de partículas de diferentes tamaños, sémola en escamas, harina y harina fina, que a su vez tienen un gran número de aplicaciones en una amplia variedad de alimentos. En lo que respecta a su aplicación como forraje, en los países desarrollados más del 60 por ciento de la producción se emplea para elaborar piensos compuestos para aves de corral, cerdos y rumiantes; en los últimos años, aún en los países en desarrollo en los que el maíz es un alimento fundamental, se utiliza un porcentaje más elevado de la producción como ingrediente para la fabricación de piensos (FAO, 1993).

Los granos de maíz contienen aproximadamente la misma cantidad de proteína que otros cereales (8-10 por ciento) pero gran parte está en forma de zeína, una proteína de poca calidad que contiene solamente pequeñas cantidades de lisina y triptófano. Contiene entre 60-70 por ciento de almidón y azúcares y 4-8 por ciento de materias grasas que se encuentran en el embrión. Contiene 2 mg/100 g de niacina, menor que el contenido en el trigo o en el arroz y aproximadamente el mismo contenido que en la avena. La niacina del maíz está en forma ligada y no es disponible para los seres humanos. Se han desarrollado nuevas variedades de maíz, con un mejor contenido de aminoácidos, como el maíz opaco-2.

La molienda del maíz reduce su valor nutritivo tal como ocurre con otros cereales. La mayor popularidad y el uso de harina de maíz altamente refinada en oposición a la harina de maíz molida tradicional o maíz ligeramente refinado en África, podría crear un problema ya que el producto altamente refinado es deficiente en vitamina B. Es necesario consumir 600 g de maíz altamente refinado para poder obtener la cantidad de tiamina presente en 100 g de maíz ligeramente refinado. Los constituyentes de la vitamina B que se pierden en la molienda se pueden restituir en la harina de maíz, como es el caso en otras harinas de cereales, por medio de la fortificación (Latham, 2002).

Los subproductos de la molienda en seco son el germen y la cubierta seminal; el primero se utiliza para obtener aceite comestible de elevada calidad, mientras que la cubierta seminal o pericarpio se emplea fundamentalmente como alimento aunque en los últimos años ha despertado interés como fuente de fibra dietética.

La molienda húmeda es un procedimiento que se utiliza fundamentalmente en la aplicación industrial del maíz aunque el procedimiento de cocción en solución alcalina

CUADRO 12
Datos seleccionados de producción, área y rendimiento de maíz estimados para el año 2005

País o región	Producción (millones de toneladas)	Área (millones de hectáreas)	Rendimiento (t/ha)
Mundo	692,0	147,0	4,7
África	47,6	27,9	1,7
Nigeria	4,8	4,5	1,1
Sudáfrica	11,9	3,3	3,6
Asia	185,4	46,4	4,0
China	131,1	26,2	5,0
India	14,5	7,4	1,9
Ex-URSS	13,7	3,5	3,9
Indonesia	12,0	3,5	3,4
Tailandia	4,2	1,2	3,6
Europa	82,6	13,9	5,9
Francia	13,2	1,6	8,1
Italia	10,6	1,1	10,1
Rumania	9,9	2,7	3,7
España	3,9	0,4	9,4
América Latina y el Caribe	87,3	27,4	3,2
Brasil	34,8	11,5	3,0
Argentina	19,5	2,7	7,1
América del Norte y Central	312,7	41,3	7,6
Estados Unidos de América	280,0	30,1	9,3
México	20,5	8,0	2,6
Canadá	8,4	1,1	7,7
Oceanía	0,5	0,09	5,2

Fuente: FAO (2006)

empleado para elaborar las tortillas (pan fino y plano de México y otros países de América Central) también es una operación de molienda húmeda que solo elimina el pericarpio. La molienda húmeda produce almidón de maíz y subproductos entre los que figura el gluten que se utiliza como ingrediente alimenticio, mientras que el germen de maíz elaborado para producir aceite da como subproducto harina de germen que se utiliza como pienso; ha habido algunos intentos de emplear dichos subproductos para el consumo humano en distintas mezclas y formulaciones alimenticias.

El almidón de maíz, sin modificar, es un polvo blanco con cierta tonalidad amarilla pálida. La blancura de este almidón, que es requerido para tabletas de medicamentos, es lograda por blanqueamiento. El principal uso del almidón de maíz es en la industria de alimentos como productos hidrolizados de almidón, particularmente productos edulcorantes líquidos. Otros productos sólidos en forma seca son obtenidos del almidón de maíz, como la D-glucosa o dextrosa en forma de cristales monohidratados o anhidros, maltodextrinas (5-20 DE) y jarabes de maíz con bajo equivalente de dextrosa (22-30 DE). El almidón de maíz ceroso sin modificar ha sido usado en alimento para mascotas y en la fabricación de malvaviscos.

Es posible producir etanol por fermentación de hidrolizados de almidón de maíz. El aumento de los precios del petróleo ha impulsado la intensificación de las investigaciones sobre la fermentación del maíz para producir alcohol combustible, el cual puede ser usado en varias mezclas con gasolina. Puede ser usado también para elaborar algunas bebidas alcohólicas. Además, tienen importancia las aplicaciones de los residuos de la planta de maíz que se utilizan, entre otras cosas, como alimento para animales y como base para extraer diversos productos químicos de las panojas, como por ejemplo, furfural y xilosa. Los residuos también tienen importancia como materia orgánica para mejorar los suelos (Watson, 1984).

Una de las ventajas comparativas del maíz frente a otras fuentes de almidón, es su tendencia a la baja de precios a lo largo de la década, lo que genera un margen de utilidad bastante atractivo para los productos con alto valor agregado generados por este cereal.

TRIGO

El trigo (*Triticum* spp.-*Poaceae*) es una de las primeras plantas que el hombre empezó a domesticar y cultivar y es la especie con mayor área sembrada en el mundo. Aunque no constituye el alimento más importante en varios de los principales países productores, muchos países importadores de trigo dependen del mismo en medida considerable. Es el cereal más importante en el comercio internacional. Los principales exportadores son Argentina, Australia, Canadá, Estados Unidos de América y Francia.

Este cereal está adaptado a climas templados con precipitaciones de bajas a moderadas. Más del 90 por ciento de la superficie triguera se encuentra en el hemisferio norte, aunque también otras áreas del mundo son adecuadas para su cultivo y, de hecho, en todos los meses del año se está recogiendo trigo en alguna parte del mundo. Existen trigos de invierno y trigos de primavera, que necesitan para su crecimiento condiciones climáticas diversas y dependiendo del tipo de trigo, este puede ser usado para la fabricación de pan o para la fabricación de pastas alimenticias.

El trigo es después del maíz el cereal de mayor producción en el mundo. El principal uso del trigo es la alimentación humana, mientras que el uso principal del maíz es la alimentación animal. La combinación de métodos agrícolas mejorados y variedades de alto rendimiento ha generado un rápido crecimiento del cultivo de trigo en el mundo. En el Cuadro 13 se presentan la producción, área sembrada y rendimientos estimados para el año 2005.

El almidón de trigo es producido en áreas donde es económicamente más rentable o por consideraciones agropolíticas. La producción de almidón de trigo es competitiva con la producción de almidón de maíz por el alto valor del subproducto de su elaboración que es el gluten.

Sin embargo, el almidón de trigo producido en Estados Unidos de América y Canadá puede ser considerado un subproducto en la producción de gluten de trigo. La mayoría del almidón de trigo, en forma sólida sin modificar es costoso para el sector industrial y para la industria de alimentos. La mayor proporción es consumida en la industria del papel, donde es usado como adhesivo de superficie y como adhesivo para la manufactura de cartón corrugado.

En Europa, las principales fuentes de almidón son el maíz y la papa, mientras que el almidón de trigo es producido en pequeña escala. En Australia y Nueva Zelanda el almidón es producido principalmente de trigo, aunque hay alguna producción de almidón de maíz local. El poder de espesamiento del almidón de trigo es menor que del almidón de maíz, pero la textura de la pasta, la claridad y la resistencia son muy similares. La temperatura de gelatinización más baja del almidón de maíz le otorga una ventaja sobre el almidón de trigo para su uso en adhesivos de cartón corrugado. El almidón de trigo también es preferido como apresto en lavandería ya que produce un acabado rígido del algodón y requiere una temperatura más baja que cuando se prepara con almidón de maíz. También es usado en panificación porque no se usan compuestos químicos en la producción de este almidón. Los almidones modificados de trigo pueden tener una propiedad emulsificante superior sobre otros almidones cuando se usan en algunos productos alimenticios, probablemente debido a su alto contenido de lípidos. El alto contenido de lípidos y de glucosaminoglicanos hacen que el almidón de trigo sea más difícil de procesar que el almidón de maíz (Knight, 1984).

ARROZ

El arroz (*Oryza sativa* - *Poaceae*) es un alimento particularmente importante para gran parte de la población de China y muchos otros países de Asia, donde habita casi la mitad de la población mundial. También es importante en las dietas de muchas poblaciones del Cercano Oriente, África y en menor grado en el continente americano. Las variedades silvestres de arroz han existido durante siglos en Asia (*Oryza sativa*) y en África (*Oryza glaberrima*). Su fruto es una cariósipide que contiene un grano blanco y oval muy harinoso. Hoy día es, sin duda, el producto alimenticio más importante del mundo para más de 1 000 millones de personas si bien al ser entregado al consumo después de haber sido descascarado, pulido y blanqueado pierde el contenido de sus vitaminas y de las diastasas contenidas en las capas corticales.

El arroz se cultiva en varias formas: el arroz apto para terrenos pantanosos crece en suelo anegados, el de montaña se planta en rotación con otros cultivos y el de tierras

CUADRO 13
Datos seleccionados de producción, área sembrada y rendimiento de trigo estimados para el año 2005

País o región	Producción (millones de toneladas)	Área (millones de hectáreas)	Rendimiento (t/ha)
Mundo	625,5	216,2	2,9
África	20,3	9,6	2,1
Marruecos	3,0	2,9	1,0
Asia	265,9	96,6	2,8
China	96,2	22,8	4,2
Ex-URSS	91,9	46,3	2,0
India	72,0	26,3	2,7
Pakistán	21,6	8,3	2,6
Turquía	21,0	9,3	2,3
República Islámica de Irán	14,5	6,2	2,3
Europa	205,7	58,2	3,5
Francia	36,9	5,3	7,0
Alemania	23,6	3,2	7,0
Reino Unido	14,9	1,9	8,0
Polonia	8,6	2,2	3,8
Italia	7,5	2,1	3,5
Rumanía	7,0	2,5	2,8
América del Sur	27,6	10,2	2,7
Argentina	16,0	6,1	2,6
Brasil	5,2	2,4	2,2
Chile	1,9	0,4	4,4
América del Norte y Central	85,7	30,7	2,8
Estados Unidos de América	57,1	20,2	2,8
Canadá	25,5	9,8	2,6
Oceanía	24,3	11,4	2,1
Australia	24,1	11,4	2,1

Fuente: FAO (2006)

CUADRO 14
**Datos seleccionados de producción, área y
 rendimiento de arroz estimados para el año 2005**

País o región	Producción (millones de toneladas)	Área (millones de hectáreas)	Rendimiento (t/ha)
Mundo	614,7	153,5	4,0
África	18,6	9,1	2,0
Asia	556,0	135,7	4,1
China	184,3	29,3	6,3
India	129,0	43,0	3,0
Indonesia	54,0	11,8	4,6
Bangladesh	40,0	11,8	3,6
Viet Nam	36,3	7,3	4,9
Tailandia	27,0	10,2	2,6
Myanmar	22,0	6,0	3,7
Filipinas	14,8	4,1	3,6
Japón	11,0	1,7	6,5
Europa	3,2	0,6	5,7
América Latina y el Caribe	26,4	6,7	3,9
Brasil	13,1	3,9	3,3
Colombia	2,6	0,5	5,3
Perú	2,4	0,3	6,7
América del Norte y Central	12,4	2,1	6,0
Estados Unidos de América	10,0	1,3	7,4
Oceanía	0,4	0,06	7,7

Fuente: FAO (2006)

bajas puede producirse en regadío o en régimen de secano. En las regiones tropicales, el arroz se planta y cosecha prácticamente durante todo el año. El arroz tradicional necesita un periodo de crecimiento de 110 a 180 días, pero las nuevas variedades de alto rendimiento maduran en menos de 100 días.

Las capas externas y el germen contienen conjuntamente casi un 80 por ciento de la tiamina del grano de arroz. El endosperma, aunque constituye el 90 por ciento del peso del grano, contiene menos del 10 por ciento de tiamina. El contenido de lisina y treonina es muy escaso en el arroz.

La producción mundial de arroz fue estimada en 614,7 millones de toneladas en el año 2005; su producción se encuentra concentrada en Asia con un 90,5 por ciento del total mundial. Las cifras de producción, área sembrada y rendimiento de arroz estimadas para el año 2005 se presentan en el Cuadro 14.

Después de la cosecha, los granos de arroz se someten a diferentes métodos de molienda. El método tradicional casero para moler el arroz, en un mortero de madera y aventamiento en una batea poco profunda; generalmente genera una pérdida de aproximadamente la mitad de las capas externas y el germen dejando un producto que contiene alrededor de 0,25 mg de tiamina por 100 g. El procedimiento de molienda y subsiguiente pulido del arroz, que produce el arroz blanco altamente estimado

para la venta en muchos lugares, retira casi la totalidad de las capas externas y el germen y deja un producto que sólo contiene aproximadamente 0,06 mg de tiamina por 100 g, una cantidad insuficiente, además de retirar gran parte del hierro y zinc que contiene. En Asia, una parte importante de la población tiene una dieta a base de arroz durante gran parte del año. Una persona que consume diariamente 500 g de arroz altamente refinado y pulido recibiría únicamente 0,3 mg de tiamina. La misma cantidad de arroz molido en el hogar o ligeramente refinado, suministraría aproximadamente 1,25 mg de tiamina, que es aproximadamente el requerimiento normal para un adulto promedio (Latham, 2002).

Una forma de suministrar arroz altamente refinado, que sea razonablemente blanco pero que sin embargo contenga cantidades adecuadas de vitamina B, es por medio de la precocción. El arroz con cáscara, generalmente se cocina al vapor de tal manera que el agua sea absorbida por el grano entero, incluyendo el endosperma. La vitamina B es soluble en agua y se distribuye en forma más uniforme en todo el grano. El arroz se seca y se descascara y luego queda listo para ser molido en la forma ordinaria. El grano precocido altamente refinado y pulido retiene la mayor parte de tiamina y vitamina B.

Diferentes arroces son usados para diferentes propósitos y la relación amilosa/amilopectina es el principal determinante de la textura del arroz cocinado. El contenido de amilosa del arroz es clasificado como ceroso (0-2 por ciento), bajo (9-20 por ciento), intermedio (20-25 por ciento) y alto, mayor de 25 por ciento. Los arroces cerosos son usados para dulces, postres y aliños. Los arroces bajos en amilosa son usados en comidas

para bebés, cereales para el desayuno y levadura leudada de pan de arroz. Los arroces de amilosa intermedia son usados en las Filipinas para tortas de arroz fermentadas y sopas enlatadas. Los arroces con alta amilosa son ideales para tallarines de arroz.

La preparación comercial de almidón a partir de arroz es limitada debido al alto costo de producción del arroz, en relación con otros cereales y tubérculos. El proceso consiste en remojar el arroz quebrado en una solución de hidróxido de sodio 0,3-0,5 por ciento el cual es usado para la purificación del almidón de arroz en la molienda húmeda. Por lo menos el 80 por ciento de la proteína (glutelina) es soluble en álcali, removiéndose la pared celular; finalmente es lavado y secado.

Las propiedades químicas y moleculares del almidón de arroz son similares a las de otros almidones de cereales usados para consumo humano. La cocción y calidad culinaria del arroz molido es determinada principalmente por las propiedades de su almidón. El principal determinante de la absorción de agua, volumen de expansión y sólidos disueltos durante la expansión y del color, brillo, pegajosidad y blandura del arroz cocinado es su contenido de amilosa. Sin embargo, existen también diferencias en calidad culinaria entre variedades de similar contenido de amilosa, las cuales están relacionadas a otros factores de calidad tales como la temperatura de gelatinización y la consistencia del gel.

En general, el uso del almidón de arroz es actualmente limitado por su alto precio en relación con los almidones de maíz, trigo y papa. Los principales usos del almidón de arroz son en la elaboración de polvos cosméticos, agente de almidonado en frío en lavanderías y para elaboración de natillas, pudines o postres. En la Comunidad Europea, el almidón de arroz bajo en contenido de amilosa, es usado en alimentos para bebés, en polvos para papel fotográfico o papeles específicos y en la industria de lavandería. Las aplicaciones no alimenticias aprovechan el tamaño pequeño de los gránulos de almidón de arroz (Juliano, 1984).

PAPA

La papa (*Solanum tuberosum* - *Solanaceae*) es originaria de América del Sur y fue llevada a Europa donde se convirtió en una alternativa económica útil y de alto rendimiento y reemplazó a varios cultivos básicos. Una situación similar ocurrió con la yuca que desplazó al mijo en algunas zonas de África y Asia. La papa sigue siendo un alimento muy importante para las poblaciones andinas de América del Sur y en general, en lugares templados de todo mundo.

La composición de la papa es influenciada por la variedad, el área de cultivo, las prácticas culturales, la madurez en el momento de la cosecha y las condiciones de almacenamiento. Al igual que otros tubérculos con alto contenido de fécula, la papa contiene aproximadamente dos por ciento de proteína de calidad razonablemente buena. Dependiendo de la variedad, la papa contiene entre 18 y 24 por ciento de almidón, el cual puede disminuir durante el almacenamiento invernal. También suministra pequeñas cantidades de vitamina B y minerales. Contiene aproximadamente 15 g de vitamina C cada 100 g, pero esta cantidad se reduce durante el almacenamiento (Latham, 2002).

En el Cuadro 15 se presentan cifras seleccionadas de producción, área sembrada y rendimiento de papa estimadas para el año 2005.

El procesamiento de papa y la producción de almidón son limitados a climas donde al final de la cosecha puedan ser almacenados durante el invierno, ya que la papa pierde calidad si no se almacena cuidadosamente. Las bodegas de almacenamiento son mantenidas a 3-4 °C; temperaturas más bajas resultan en la conversión de 1-4 por ciento del almidón a azúcares en aproximadamente tres meses de almacenamiento. Los costos de producción por hectárea para el cultivo de la papa son más altos comparados con otros cultivos debido, en gran parte, a las aplicaciones de fertilizantes y plaguicidas y al costo de mano de obra. Los costos en los países desarrollados son generalmente

CUADRO 15
Datos seleccionados de producción, área sembrada y rendimiento de papa estimados para el año 2005

País o región	Producción (millones de toneladas)	Áreas (millones de hectáreas)	Rendimiento (t/ha)
Mundo	322,0	18,6	17,3
África	15,4	1,4	11,3
Asia	132,8	7,8	16,9
China	73,8	4,4	16,8
Ex-URSS	73,7	5,8	12,6
India	25,0	1,4	17,8
Japón	2,9	0,09	17,8
Europa	131,8	7,8	16,8
Alemania	11,1	0,3	40,4
Polonia	11,0	0,6	18,5
Países Bajos	6,8	0,6	42,4
Francia	6,3	0,1	43,2
Reino Unido	6,3	0,1	45,0
América del Sur	16,2	1,0	16,5
Brasil	2,9	0,1	21,8
Colombia	2,6	0,1	17,1
Perú	2,4	0,3	6,7
América del Norte y Central	26,5	0,7	37,4
Estados Unidos de América	19,1	0,4	43,5
Canadá	4,8	0,2	29,4
Oceanía	1,8	0,05	37,8

Fuente: FAO (2006)

menores por su alto rendimiento y por la calidad de las variedades que se siembran.

Variedades especiales de papa son cultivadas en el noreste de Europa por su alto contenido de almidón. Los Países Bajos son el productor más importante de almidón de papa y la mayoría de sus exportaciones tienen como destino los Estados Unidos de América donde más del 40 por ciento del almidón de papa que se consume es importado. Aproximadamente las dos terceras partes de las importaciones son dextrinas y almidones solubles o tratados químicamente y el resto es principalmente almidón grado industrial.

El almidón de papa seco grado industrial es de color blanco puro, tiene una humedad de 11 -13 por ciento y contiene trazas de componentes que pueden ser 0,35 por ciento de ceniza, 0,1 por ciento de almidones solubles, trazas de nitrógeno y azúcares, pero sin grasas. De los almidones comerciales, el almidón de papa desarrolla la más alta consistencia en la gelificación. Su viscosidad decae con la agitación y el calentamiento continuado. Dado que sus pastas son electroviscosas, son sensibles a la adición de pequeñas concentraciones de electrolitos.

El almidón de papa es preferido al almidón de maíz y a otros almidones en aplicaciones para las cuales sus propiedades son particularmente convenientes. Sus características más importantes son su alta

consistencia en la gelificación seguida por una disminución en la viscosidad después de un calentamiento y agitación adicionales; su baja temperatura de gelatinización y su excelente formación de película flexible y fuerza de adhesión.

La modificación más importante del almidón de papa es la pregelatinización haciendo que este sea dispersible en agua fría. El almidón pregelatinizado puede ser usado directamente en muchas aplicaciones sin la necesidad de ser cocinado al momento de su uso. También es importante el almidón catiónico de papa el cual, luego de ser obtenido mediante agentes alcalinos, tiene una mínima pérdida de viscosidad y formación de película por lo cual este almidón es generalmente preferido al almidón catiónico de maíz.

La fabricación de papel consume aproximadamente el 33 por ciento del almidón usado en los Estados Unidos de América. La mayoría del producto usado es almidón catiónico de papa ya que este almidón mejora la retención de las fibras finas y del relleno así como las propiedades mecánicas del papel. Se usa para encolar la masa o el interno en la fase húmeda de elaboración del papel.

El almidón de papa sin modificar es preferido a otros almidones en el encolado superficial del papel por sus propiedades de formación de película, excelente poder de adhesión y más baja retención de humedad; esto produce un mejor cubrimiento en el papel y reduce la carga cuando va a ser secado.

El sector de alimentos consume alrededor de 30 por ciento del mercado de almidón de papa en los Estados Unidos de América. Una cantidad importante es usada en sopas

donde su alta viscosidad inicial dispersa eficazmente los ingredientes en el mezclado y durante la cocción la viscosidad decae a una consistencia deseada para el producto final. El almidón de papa es eficaz en postres instantáneos. La formulación seca consiste principalmente en almidón soluble, azúcar y saborizantes; luego de la adición de leche fría el almidón se disuelve rápidamente y forma un gel. Otras aplicaciones en el campo alimentario incluyen su uso como agente espesante para el relleno de pasteles, para dar cuerpo a caramelos y malvaviscos y como agente para espolvorear, mezclado con azúcar pulverizada, sobre gomas dulces y gomas masticables.

El almidón de papa dextrinizado es la forma preferida para su uso como adhesivo. Aproximadamente el 19 por ciento del almidón de papa consumido en Estados Unidos de América es usado en adhesivos. Como aglutinante en papel de lija y tela abrasiva y en encuadernación. Las dextrinas de almidón de papa proveen alta adherencia y una película residual flexible. Son usadas para el engomado de estampillas, etiquetas, sobres y cintas de papel, ya que son fácilmente rehumedecibles lo cual es una propiedad deseada en mucílagos para estos usos.

El mayor crecimiento del uso de almidón de papa es en el campo petrolífero, con el 15 por ciento de su consumo en los Estados Unidos de América. Todo el almidón de papa usado en este caso es pregelatinizado y frecuentemente estabilizado contra ataques microbiológicos. Las funciones de este almidón son como agente de control ante la pérdida de viscosidad y fluidez. La viscosidad característica del almidón de papa es preferida a otros almidones.

Hay otra variedad de usos para el almidón de papa que incluyen el uso de almidón catiónico de papa como floculante en el tratamiento de aguas, aglutinante de tabletas y pastillas, apresto textil para la urdimbre y aglutinante en fundición.

Debido a sus propiedades únicas, el almidón de papa ha mantenido su posición en ciertas aplicaciones ante los precios más bajos del almidón de maíz. El almidón de maíz mantiene alrededor del 80 por ciento del mercado consumido en los Estados Unidos de América y el resto es principalmente de almidones de trigo y yuca. Si el almidón de papa pudiera estar disponible en suficiente cantidad y a los precios del almidón de maíz, sería preferido en la mayoría de las aplicaciones. Además de lo anterior, entre todos los almidones comerciales, el almidón de papa da la más alta consistencia en la gelificación y es superior en la formación de película y poder aglutinante, conservando estas propiedades en sus derivados. En aplicaciones especializadas, donde estas cualidades son necesarias, el almidón de papa justifica ser considerado como superior al almidón de maíz (Mitch, 1984).

El consumo de almidón de papa podría incrementarse en el futuro próximo, dada la tendencia al uso de jarabes con alto contenido en fructosa obtenidos de cultivos genéticamente no modificados; esto reduciría el consumo de jarabes de maíz. Además, el crecimiento en el uso de mezclas alcohol-gasolina en motores a explosión puede llegar a utilizar grandes cantidades de maíz, lo cual reduciría su uso en otras aplicaciones. El almidón de papa puede llegar a ser más competitivo, además de expandir su producción y mejorar su precio.

BATATA

La batata o camote (*Ipomoea batatas* - *Convolvulaceae*) es uno de los cultivos tradicionales más antiguos y valiosos; es sembrado en gran escala, especialmente en más de 80 países en desarrollo. Es utilizada de acuerdo a sus características para el consumo humano y animal y para el procesamiento industrial. Es originaria del continente americano y actualmente se cultiva ampliamente en Asia y África tropical.

La batata es una planta herbácea de tipo rastrera, que en la primera etapa de su crecimiento desarrolla follaje mientras que en la etapa final sus raíces alcanzan su máximo volumen y tamaño (León, 1987). Existen más de 400 variedades de batata diferenciadas por su morfología. Sus raíces tienen forma irregular y diferentes tamaños

y colores; varían desde esféricas hasta casi cilíndricas pudiendo ser lisas y con surcos longitudinales. El color de su corteza puede variar entre blanca, amarilla y naranja pero no necesariamente coincide con el color de la pulpa. El tamaño de las raíces depende de las condiciones de su cultivo y producción y generalmente se multiplica a partir de trozos de tallo. La batata crece en cualquier tipo de suelo, incluyendo los áridos y de poca humedad, pues es un cultivo rústico que requiere poca atención en cuanto a labores agronómicas lo que implica un bajo costo de producción en comparación con otros cultivos. Las hojas de la batata también se consumen y tienen propiedades similares a las hojas de la yuca (Huamán, 1988). Sin embargo, las hojas no se deben cortar en exceso porque, como ocurre con otros cultivos de raíces o tubérculos, puede reducir su rendimiento.

Sus raíces contienen algo de vitaminas C y E, ácido fólico, poca cantidad de proteína y, especialmente las variedades amarillas, suministran cantidades útiles de betacarotenos (pro-vitamina A). Además, esta especie es una buena fuente de potasio y contiene mayor cantidad de sodio que la papa. Tiene entre 16 y 40 por ciento de materia seca y las batatas de pulpa blanca presentan mayor contenido de materia seca que las de pulpa anaranjada. De esta materia seca 75-90 por ciento son carbohidratos tales como almidón, azúcares, celulosa, pectina y hemicelulosa; estos tres últimos son llamados fibra dietaria y juegan un papel importante en el valor nutricional de la batata estando asociados a las proteínas y a la lignina. El contenido de almidón en las raíces frescas de batata varía entre 7 y 30 por ciento (bh), los azúcares totales entre 6 y 14 por ciento (bs) y los azúcares reductores entre 0,85 y 6 por ciento (bs). Los principales azúcares son la sacarosa, la glucosa y la fructosa pero sus concentraciones dependen del cultivar (Woolfe, 1992).

En el Cuadro 16 se presentan cifras seleccionadas de producción área y rendimiento en el año 2005. La batata es un cultivo típico de los países en desarrollo que en su conjunto producen cerca del 98,5 por ciento del total mundial. Japón y Estados Unidos de América son los únicos países desarrollados que producen cantidades significativas de batata.

La batata se usa principalmente para alimentación humana, se prefieren las raíces de pulpa húmeda, de alto rendimiento, alto contenido de proteína y caroteno. El 60-70 por ciento de este tubérculo es utilizado en forma seca o procesada como enlatado, congelado o deshidratado. También es usada en pasteles, purés, comidas horneadas, entre otros. La batata también es usada en la alimentación animal y como materia prima para la industria del almidón, harina para la elaboración de pan sustituyendo parcialmente la harina de trigo, hojuelas fritas, enlatado entero y en trozos o en forma de puré, producción de glucosa, alcohol etílico, ácido láctico, butanol, acetona, vinagre, betacarotenos y productos fermentados (Alcántara, 1983).

En el Japón el 30 por ciento de la batata es usada para consumo directo, el 25 por ciento para la elaboración de almidón, el 25 por ciento para vender en el mercado en fresco y el 5 por ciento como material para un destilado

CUADRO 16
Datos seleccionados de producción, área y rendimiento de batata estimados para el año 2005

País o región	Producción (millones de toneladas)	Área (millones de hectáreas)	Rendimiento (t/ha)
Mundo	129,9	8,7	14,9
África	11,5	2,5	4,5
Uganda	2,6	0,6	4,4
Nigeria	2,5	0,5	4,9
República Unida de Tanzania	0,9	0,5	1,9
Asia	132,8	7,8	16,9
China	73,8	4,4	16,8
Indonesia	73,7	5,8	12,6
Viet Nam	1,5	0,2	7,6
Japón	1,0	0,04	25,6
India	0,9	0,1	9,0
Europa	0,6	0,005	10,7
América del Sur	16,2	1,0	16,5
Perú	0,2	0,3	7,9
Paraguay	0,1	0,02	7,1
América del Norte y Central	1,5	0,2	8,2
Estados Unidos de América	0,7	0,04	19,3
Oceanía	0,6	0,1	5,7

Fuente: FAO (2006)

espiritoso llamado *shochu* y en la producción de alcohol y el resto para otros usos varios. Según estudios realizados en este país, los almidones de batata tienen más de 2 000 tipos de uso (Kainuma, 1984). En China hay más de 60 productos derivados de la batata, donde el jarabe de azúcar envasado es el producto procesado más importante (Tsou y Hang, 1992).

La batata constituye el 4-5 por ciento de la producción mundial de almidones. La producción de almidón de batata es una de las mejores formas del aprovechamiento de este cultivo en los principales países productores. En China, alrededor del 15-20 por ciento del total de la producción de batata es convertida en almidón y en Japón el 35 por ciento. La batata tiene la ventaja de ser un cultivo de alto rendimiento para la producción de almidón: un 30 por ciento más que el arroz y que el maíz y 49 por ciento mayor que el trigo (Woolfe, 1992).

En países productores de batata la producción de almidón se lleva a cabo en pequeña y gran escala y es similar al proceso utilizado para la extracción de almidón de yuca. El almidón obtenido es frecuentemente menos puro y más oscuro que el almidón de maíz. Esto puede ser debido a la contaminación con látex (p. ej., resinas) producido por los tejidos de conducción que se encuentran en toda la planta y por los compuestos polifenólicos formados durante el procesamiento.

El almidón de batata también puede ser modificado químicamente en forma similar a los almidones de otro origen y puede ser usado no solo en la industria de los alimentos, sino en otras industrias como la del papel, textil y química.

ARRURRUZ

El arrurruz (*Maranta arundinacea* - *Marantaceae*) se cultiva en áreas con lluvias adecuadas y es apreciado por ciertas poblaciones de África y Oceanía. El valor nutritivo del arrurruz es similar al de la papa. Las raíces se consumen en diferentes formas, frecuentemente asadas o cocidas.

El almidón de arrurruz es obtenido de la raíz de esa planta tropical que tiene entre 60-150 cm de altura; tiene hojas lanceoladas y flores blancas ordenadas en grupos. La planta tiene raíces elongadas cilíndricas de grosor 2,5 cm y longitud 20-45 cm, y es propagada a partir de las raíces cortadas o semillas. Las raíces pueden ser cosechadas después de 6-12 meses dependiendo del área de producción y del país. En algunas áreas la planta crece espontáneamente y es cosechada como un cultivo alternativo.

Las raíces pueden contener más de 20 por ciento de almidón, del cual el 17-18 por ciento es extraíble en equipos similares a los usados para extraer almidón de yuca. El arrurruz requiere más lavado que las raíces de yuca. La capa más externa de la raíz debe ser completamente removida, de lo contrario el almidón retendrá un sabor amargo y un color amarillo.

Los gránulos de almidón de arrurruz son algo más grandes que los gránulos de almidón de yuca. El almidón de arrurruz es producido principalmente en Brasil, China y en San Vicente (Corbishley, 1984).

SAGO

El sago (*Metroxylon sagu* - *Arecaceae*) es una palma de la cual puede obtenerse almidón puro. Su producción está limitada a los trópicos húmedos y áreas pantanosas de selva lluviosa tropical permanentemente empapados por lluvias y aguaceros. Los árboles se cultivan extensamente en Indonesia, y el sago como alimento es particularmente popular en varias islas del Pacífico.

Las principales áreas de producción de sago, donde también existe una producción moderada de almidón son Sarawak (donde hay modernas refinerías en Sibú, Sabah y Brunei) y Papúa Nueva Guinea. El almidón de los tallos de la palma ha sido un producto de importancia local en todas partes del continente e islas del sudeste de Asia, en partes de Melanesia, en ciertas islas de Micronesia y varias áreas tropicales de América del Sur.

La producción comercial de almidón de sago comienza con el corte de los troncos de la palma que son transportados a molinos donde son partidos en secciones, la médula es retirada y se extrae el almidón mecánicamente con agua o puede ser pisoteado durante 30 minutos. Frecuentemente el primer almidón removido es usado localmente y el almidón crudo es enviado a las plantas comerciales para purificación. El almidón crudo es mezclado con agua y tamizado para eliminar fibra gruesa; el almidón es removido y lavado en un filtro rotatorio, antes de su secado con aire caliente. Un tronco de aproximadamente 270-360 kg de peso tiene 90-180 kg de médula, la cual contiene en promedio 40 por ciento de almidón de sago.

El almidón de sago tiene un bajo contenido de proteína y su textura es elástica y gomosa. El principal uso industrial del almidón de sago es como apresto textil y adhesivo. En las áreas productoras de sago de Sarawak, Subah e Indonesia el sago es un producto comestible localmente poco costoso. Sin embargo, la preferencia por el arroz como alimento y su adaptabilidad a tierras pantanosas de agua dulce ha desplazado el sago. También se conoce su uso en la elaboración de postres tales como pudines, manjar blanco y otros (Corbishley, 1984).

Bibliografía

- Alarcón, F. y Dufour, D. 1998. *Almidón agrario de yuca en Colombia. Producción y recomendaciones*. Tomo I. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo (CIRAD). Cali, Colombia. pp 9-24.
- Alcántar, A. 1983. *Usos e industrialización de la batata*. Boletín Informativo No. 5. pp. 8. República Dominicana. Centro de Desarrollo Agropecuario, Zona Norte. (CENDA).
- Álvarez, E y Llano, G. 2002. *Enfermedades del cultivo de la yuca y métodos de control*. En: Ospina, B y Ceballos, H. *La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*, pp. 131-147. CIAT. Cali, Colombia. 586 pp.
- Anderson, R., Conway, H.F, Pheiser, V.F y Griffin, E.L. 1969. Gelatinisation of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, 14: 4-12.
- AOAC. 2000. *Ash of flour*. Association of Analytical Chemists International (AOAC). 7 ed. MD, Estados Unidos de América..
- AOAC. 2000. *Nitrogen (total) of flour*. Association of Analytical Chemists International (AOAC). 7 ed. MD, Estados Unidos de América.
- Aspinal, G.O. 1983. *The Polysaccharides*. Vol. 3. New York, Estados Unidos de América Academic Press.
- Balagopalan, C., Padmaja, G., Nanda, S.K. y Moorthy, S.N. 1988. *Cassava in Food, Feed and Industry*. Bocarátón, Florida, Estados Unidos de América. CRC Press. p.138.
- Bellotti, A. 2000. *Las plagas principales del cultivo de la yuca. Un panorama global*. En: *Simposio avances en el manejo de plagas*. Memorias del XXVII Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología, junio de 2002, pp. 189-217. Medellín, Colombia, SOCOLEN.
- Bellotti, A., Arias, B. y Reyes, J. 2002. *Manejo de plagas de la yuca*. En: Ospina, B y Ceballos, H. *La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*, pp. 220-233. CIAT. Cali, Colombia. 586 pp.
- Booth, R.H. 1977. Storage of fresh cassava (*Manihot esculenta*). II Simple storage techniques. *Agric. Exp.* 13(2): 119-128.
- Bradbury, M.G., Egan, S.V. y Bradbury, J.H. 1999. Picrate paper kits for determination of total cyanogens in cassava roots and all forms cyanogens in cassava products. *J. Sci. Fd Agric.*, 79: 593-601.
- Buitrago, J. 1990. *La yuca en la alimentación animal*, pp. 67-71. CIAT. Cali, Colombia. 446 pp.
- Cadavid, L.F. 2005. *Producción de yuca*. Manual. CLAYUCA. Cali, Colombia. 36 pp.
- Calle, F. 2002. *Control de malezas en el cultivo de la yuca*. En Ceballos, H. y Ospina, B. *La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*, pp. 126-128. CIAT. Cali, Colombia. 586 pp.
- CCI, 2003. *Inteligencia de Mercados. Yuca (Mandioca)*. Bogotá, Corporación Colombia Internacional (CCI). (disponible en http://www.agrocadenas.gov.co/inteligencia/int_yuca.htm).
- Ceballos, H. y De la Cruz, A. 2002. Taxonomía y morfología de la yuca. En: Ceballos, H. y Ospina, B. *La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*, p. 28. CIAT. Cali, Colombia. 586 pp.
- Ceballos, H. 2002. La yuca en Colombia y en el mundo: nuevas perspectivas para un cultivo milenario. En Ceballos, H. y Ospina, B. *La yuca en el tercer milenio. Sistemas*

- modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*, p. 3. CIAT. Cali, Colombia. 586 pp.
- Ceballos, H., Morante, N., Calle, F., Lenis, J.I., Jaramillo, G. y Perez, J.C.. 2002. Mejoramiento genético de la yuca. En Ceballos, H. y Ospina, B. *La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*, pp. 297-301. CIAT. Cali, Colombia. 586 pp.
- CIAT. 1977. *Annual report for 1976*. Ciat. Cali, Colombia.
- CIAT. 1978. *Método para determinación del contenido de material seca y de almidón en la yuca por el sistema de gravedad específica*. En: *Curso de producción de yuca*. Tomo I, pp. 352-356. Cali, Colombia, Ed Pre.
- CIAT. 1982. *Cocinando con yuca*. En *Yuca boletín informativo*. No. 10. Marzo, pp 4-6. CIAT. Cali, Colombia. (multicopiado).
- CIAT. 1984. *Cassava program annual report for 1982 and 1983*. Cali, Colombia, pp.251.
- CIAT. 1995. *La industria de almidón en el departamento del Cauca, Colombia*. CORPOTUNIA, CIRAD, CETEC, UNIVALLE, Fundación Carvajal y CIAT. Cali, Colombia. 16 pp.
- Ciferri, R. 1938. Saggio di classificazioni delle razze de manioca (*Manihot esculenta* Crantz). Firenze, Italia, Instituto Agricolo Coloniale Italiano. 58 pp.
- Cock, J.H., Castro, M.A. y Toro, J.C. 1978. *Agronomic implications of mechanical harvesting*. In: Weber, E.J., Cock, J.H. y Chouinard A. *Proceedings. Workshop on cassava harvesting and processing held in Cali, Colombia*. Ottawa, Canadá, International Development Research Centre (IDRC). pp. 60-65.
- Cooke, R.D. y Maduagwu, E.N. 1978. The effects of simple processing on the cyanide content of cassava chips. *J. Food Technol.*, 13: 299-306.
- Corbishley, D.A. 1984. *Tapioca, arrowroot and sago starches: production*. In: Whistler, R.L., Bemiller, J.N. y Paschall, E.F. *Starch: Chemistry and Technology*. 2 ed. Orlando, Florida, Estados Unidos de América, Academic Press. pp. 469-478.
- Craig, S.A.S., Maningat, C.C., Seib, P.A. y Hosene, R.C. 1989. Starch Paste Clarity. *Cereal Chem.*, 66(3):173-182.
- Cronin, D.A. y Smith, S. 1979. A Simple and rapid procedure for the analysis of reducing, total and individual sugars in potatoes. *Potato Res.*, 22: 99-105.
- Debouk, D. y Guevara, C. 1995. Unidad de recursos genéticos: laboratorio de cultivo de tejidos. CIAT. Cali, Colombia. 16 pp. (multicopiado).
- Delpuech, F. y Favier, J.C. 1980. *Caractéristique des amidons de plantes alimentaires tropicales: action de l'alpha-amylase, gonflement et solubilité*. Paris, *Ann. Technol. Agric.*, 29(1): 53-67.
- Dufour, D., O'Brien, G. y Best, R. 1996. *Cassava flour and starch: progress in research and development*. CIAT. Cali, Colombia.
- Duprat, F., Gallant, D., Guillot, A., Mercier, C. y Robin, J.P. 1980. *Les polymères végétaux*. Paris, Monties. pp. 176-231.
- EBS. 2005. *Proceso de funcionamiento de una industria modelo de almidón de yuca*. Eléctrica Bi-Solar Ltda. Memorias Feria tecnológica de la yuca. Mayo 4-6. CIAT, Palmira, Valle, Colombia.
- FAO y WHO. 1991. *Joint FAO/WHO. Food Standards Programme. Codex Alimentarius Commission XII, Supplement 4*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), World Health Organization (WHO). Roma.
- FAO. 1993. *El maíz en la nutrición humana*. En: *Colección FAO: Alimentación y nutrición N° 25*. Roma. (también disponible en http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/t0395s/t0395s00.htm)
- FAO. 2006. *Datos agrícolas de FAOSTAT. Producción. Cultivos primarios*. En *Base de datos estadísticas de la FAO (FAOSTAT)*. (disponible en <http://faostat.fao.org/faostat/form?collection=Production.Crops.Primary&Domain=Production&servlet=1&hasbulk=0&version=ext&language=ES>).

- Fernández, A., Vélez, C., De Stouvenel, A., Gómez, A., Wheatley, C., Ostertag, C. y Alonso, L. 1992. *La producción y uso de la harina de yuca para consumo humano*. En: Scott, G., Herrera, H., Espinola, N., Daza, M., Fonseca, C., Fano, H. y Benavides, M. *Desarrollo de productos de raíces y tubérculos*. Vol. II. América Latina, pp. 251-262. CIP. Lima.. 375 pp.
- FIDA y FAO. 2000. *La economía mundial de la yuca. Hechos, tendencias y perspectivas*. Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma. 68 pp.
- Gómez, G. 1982. *Cassava, cyanide and animal nutrition*. In: Workshop on Cassava Toxicity and Thyroid: Research and Public Health Issues. May 31-June 2. Ottawa, International Development Research Center.
- Gómez, G., Santos J. y Valdivieso, M. 1983. *Utilización de raíces y productos de yuca en alimentación animal*. En: Domínguez, C.E. *Yuca: investigación, producción y utilización*, pp. 48, 542, 543. PNUD-CIAT. Cali, Colombia.
- Grace, M.R. 1977. *Elaboración de la yuca*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma. 116 pp.
- Howling, D. 1980. The influence of the structure of starch on its rheological properties. *Food Chem*, 6: 51-56.
- Huamán, Z. 1988. *Descriptors for the characterization and evaluation of the sweet potato genetic resources*. Report of the first sweet potato planning conference 1987. International Potato Center (CIP). Lima. pp. 331-355.
- Hurtado, J.J. 1997. *Valorización de las amiláceas «no-cereales» cultivadas en los países andinos: estudio de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de sus almidones y de la resistencia a diferentes tratamientos estresantes*. Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. (B.Sc. Tesis). 164 pp.
- ICONTEC. 1974. *Almidón de maíz sin modificar*. Segunda actualización. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). 24 pp. Bogotá, Colombia. (NTC 926).
- ICONTEC. 1986. *Almidón de maíz sin modificar*. Segunda actualización. NTC 926. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Bogotá. 24 pp.
- ICONTEC. 1997. *Microbiología. Guía general para el recuento de mohos y levaduras. Técnica de recuento de colonias a 25 °C*. NTC 4132. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Bogotá. 7 pp.
- ICONTEC. 1998. *Microbiología de alimentos y de alimentos para animales. Guía general para el recuento de coliformes. Técnica del número mas probable, NMP*. NTC 4516. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Bogotá. 10 pp.
- ICONTEC. 1998. *Microbiología de alimentos. Guía general para el recuento de microorganismos. Técnica de recuento de colonias a 35 °C*. NTC 4519. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Bogotá. 7 pp.
- ICONTEC. 2001. *Alimentos para animales. Determinación del contenido de fósforo. Método espectrofotométrico*. NTC 4981. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Bogotá.
- ICONTEC. 2002. *Alimentos para animales. Yuca integral seca para consumo animal*. NTC 3528. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Bogotá.
- IDRC e IFAD. 1999. *Global cassava market study. Business opportunities for the use of cassava*. International Development Research Centre (IDRC), International Fund for Agricultural Development (IFAD). Canadá, DTP Studies Inc. p. 184.
- IFAD y FAO. 2004. *Global cassava market study. Business opportunities for the use of cassava. Proceedings of the validation forum on the global cassava development strategy*. Volume 6. International Fund for Agricultural Development (IFAD), Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Roma.

- IIT. 1978. *Preservación de yuca fresca*. Instituto de Investigaciones Tecnológicas (IIT). Bogotá. pp 9-20.
- ISI. 1999. *Determination of starch size distribution by screening*. ISI 32-1e. In: *Laboratory methods*. Science Park, Aarhus, Dinamarca, International Starch Institute (ISI). (disponible en <http://www.starch.dk/isi/methods/index.htm>).
- ISI 1999. *Determination of pH in starch and syrup*. ISI 26-5e. In: *Laboratory methods*. Science Park, Aarhus, Dinamarca, International Starch Institute (ISI). (disponible en <http://www.starch.dk/isi/methods/index.htm>).
- ISI 2000. *Determination of viscosity of starch by Brabender*. ISI 19-6e. In: *Laboratory methods*. Science Park, Aarhus, Dinamarca, International Starch Institute (ISI). (disponible en <http://www.starch.dk/isi/methods/index.htm>).
- ISI. 2002. *Determination of viscosity of starch by Brookfield*. ISI 17-1e. In: *Laboratory methods*. Science Park, Aarhus, Dinamarca, International Starch Institute (ISI). (disponible en <http://www.starch.dk/isi/methods/index.htm>).
- ISO. 1987. *Determination de la teneur en amylose*. ISO 6647 .International Organization for Standarization. Suiza.
- Jaramillo, G. 2002. Recursos genéticos de Manihot en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). En: Ceballos, H. y Ospina, B. *La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*, pp. 271-291. CIAT. Cali, Colombia. 586 pp.
- Juliano, B.O. 1984. *Rice starch: production, properties and uses*. In: Whistler, R.L., Bemiller, J.N. y Paschall, E.F. *Starch: Chemistry and Technology*. 2 ed. Orlando, Florida, Estados Unidos de América, Academic Press. pp. 507-528.
- Kainuma, K. 1984. Uses of sweet potato starch. *Farming Japan* 18(5): 36-40.
- Kennedy, H.M. y Fischer, A.C. 1984. *Starch and Dextrins in prepared Adhesives*. En: Whistler, R.L., Bemiller, J.N. y Paschall, E.F. *Starch: Chemistry and Technology*. 2 ed. Orlando, Florida, Estados Unidos de América. Academic Press. pp. 593-610.
- Knight, J.W. 1984. *Wheat starch: production, modification and uses*. In: Whistler, R.L., Bemiller, J.N. y Paschall, E.F. *Starch: Chemistry and Technology*. 2 ed. Orlando, Florida, Estados Unidos de América. Academic Press. pp. 491-506.
- Latham, M.C. 2002. *Cereales, raíces feculentas y otros alimentos con alto contenido de carbohidratos*. En Colección FAO: *Alimentación y nutrición N° 29. Nutrición humana en el mundo en desarrollo*. Ithaca, Nueva York, Estados Unidos de América (también disponible en http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/006/W0073S/w0073s0u.htm).
- León, J. 1987. *Botánica de los cultivos tropicales*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José. 445 p.
- López, J. 2002. *Semilla vegetativa de yuca*. En: Ospina, B y Ceballos, H. *La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*, pp. 49-75. CIAT. Cali, Colombia. 586 pp.
- López, J.M. 1994. *Estudio del tratamiento térmico extrusión sobre las propiedades funcionales y reológicas del almidón de yuca (Manihot esculenta Crantz)*. Universidad La Gran Colombia, Armenia, Colombia. pp. 17-23. (B.Sc. Tesis).
- Mestres, C. 1993. Comparison of various processes for making maize pasta. *J. Cereal Sci.*, 17: 277-290.
- Mestres, C. 1996. *Los estados físicos del almidón*. En: *Conferencia internacional sobre Almidón. Propiedades físico-químicas, funcionales y nutricionales. Usos*. 8-10 mayo. Quito, Escuela Politécnica Nacional, Instituto de Investigación Tecnológica. pp. 1-16.
- Mitch, E.L. 1984. *Potato starch: production and uses*. In: Whistler, R.L., Bemiller, J.N. y Paschall, E.F. *Starch: Chemistry and Technology*. 2 ed. Orlando, Florida, Estados Unidos de América. Academic Press. pp. 479-490.

- Montoya, M. 2004. *Estudio técnico y económico de la utilización de ceras naturales en la conservación de raíces de yuca fresca*. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia. (B.Sc. Tesis). 133 pp.
- Ospina, B., García, M. y Alcalde, C. 2002. *Sistemas mecanizados de siembra y cosecha para el cultivo de la yuca*. En: Ospina, B y Ceballos, H. *La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*, pp. 326-339. CIAT. Cali, Colombia. 586 pp.
- Padmaja, G. 1995. *Culpables de la toxicidad de la yuca: ¿los cianógenos o el bajo contenido de proteína?*. Yuca boletín informativo, Vol. 19 No. 2, Diciembre, pp. 4-5.
- Rickard, J.E., Asoka, M. y Blanshard, JMV. 1991. The physico-chemical properties of cassava starch. *Tropical Science*, 31(2):189-207.
- Sánchez, T. y Alonso, L. 2002. *Conservación y acondicionamiento de las raíces frescas*. En: Ceballos, H. y Ospina, B. *La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*, pp. 503-526. CIAT. Cali, Colombia. 586 pp.
- Sánchez, T. 2004. *Evaluación de 6000 variedades de yuca*. Cali, Colombia, Programa Mejoramiento de yuca-CIAT.
- Schoch, T.J. 1964. Determination of reducing value. In: Whistler, R.L. y Paschall, E. *Methods in Carbohydrate Chemistry*. New York, Estados Unidos de América. Academic Press. pp.64-66.
- Scott, G. J., Best, R., Rosegrant, M. y Bokanga, M. 2000. *Roots and tubers in the global food system: A vision statement to the year 2020*. A co-publication of the International Potato Center (CIP), International Center for Tropical Agriculture (CIAT). International Food Policy Research Institute (IFPRI), International Institute of Tropical Agriculture (IITA), International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI). Lima.
- Skeist, I. 1977. *Handbook of Adhesives*. 2 ed. New York, Estados Unidos de América. Van Nostrand Reinhold. pp.192-211.
- Smith, R.J. 1967. *Characterization and analysis of starches*. In Whistler, R.L. & Paschall, E. *Starch: Chemistry and Technology*. Vol II. Industrial Aspects. New York, Academia Press. p 593.
- Sritoth, K., Piyachomkwan, K., Wanlapatit, S. y Oates, C. 2000. Cassava Starch Technology: The Thai Experience. *Starch/Stärke*, 52: 439-449.
- Taggart, P. 2004. *Starch as an ingredient: manufacture and applications*. In: Eliasson, A-C. *Starch in food. Structure, function and applications*. Cambridge, Reino Unido. Woodhead Publishing Limited.
- Toro, J.C., y Cañas, A. 1983. *Determinación del contenido de material seca y almidón en yuca por el sistema de gravedad específica*. En: Domínguez, C.E. *Yuca: investigación, producción y utilización*, pp. 567-575. PNUD-CIAT. Cali, Colombia.. 656 pp.
- Torrico, R.A. 1951. El casabe. Caracas, Venezuela. 3 pp. (multicopiado).
- Tsou, S.C. y Hang, T.L. 1992. *The nutrition and utilization of sweet potato*. In: Hill, W.A. Bonsi, C.K. y Lorilan P.A. *The sweet potato technology for the 21th century*. Japón.
- Vanhamel, S., Van den Ende, L., Darius, P. L. y Delcour, J.A. 1991. A volumeter for breads prepared from 10 grams of flour. *Cereal Chem.*, 68(2): 170-172.
- Vian, A. 1994. *Introducción a la química industrial*. 2 ed. Barcelona, España. Reverté. pp. 470-474.
- Vilpoux, O. 2004. *Cassava starch production process in Brasil, Thailand and China*. In: Marney, P y Olivier, F. *Technology, use and potencialities of Latin American starchy tubers*. São Paulo, Brasil, NGO Raíces and Cargill Foundation. pp. 147-185.
- Waniska, R.D. y Gómez, M.H. 1992. Dispersion behavior of starch. *Food Tech*. June. pp 110-118, 123.
- Watson, S.A. 1984. *Corn and sorghum starches: production*. In: Whistler, R.L., Bemiller, J.N. y Paschall, E.F. *Starch: Chemistry and Technology*. 2 ed. Orlando, Florida, Estados Unidos de América. Academic Press. pp. 417-468.

- Wheatley, C.** 1983. *Almacenamiento de raíces frescas de yuca*. Guía de estudio. CIAT. Cali, Colombia. 35 pp.
- Wheatley, C.** 1991a. *Conservación de raíces de yuca en bolsas de polietileno*. Guía de estudio. CIAT. Cali, Colombia. 33 pp.
- Wheatley, C.** 1991b. *Calidad de las raíces de yuca y factores que intervienen en ella*. En Hershey, C. *Mejoramiento genético de la yuca en América Latina*. pp. 267-291. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). 426 pp.
- Wheatley, C., Lozano, C. y Gómez, G.** 1985. *Post-harvest deterioration of cassava roots*. In: Cock, J.H. & Reyes, J.A. *Cassava: research, production and utilization*. pp. 655-671. UNDP-CIAT. Cali, Colombia. 745 pp.
- Whistler, R.L., Bemiller, J.N. y Paschall, E.F.** 1984. *Starch: Chemistry and Technology*. 2 ed. Orlando, Florida, Estados Unidos de América. Academic Press. 718 pp.
- Williams, H.J. y Edwards, T.G.** 1980. Estimation of cyanide with alkaline picrate. *J. Sci. Fd Agric.*, 31: 15-22.
- Woolfe, J.A.** 1992. *Sweet potato and untapped food resource*. Cambridge University Press, International Potato Center. Lima. pp. 643.
- Wurzburg, O.B.** 1986. *Modified Starches: Properties and Uses*. Boca Raton, Estados Unidos de América. CRC Press. pp. 4-10, 29-40, 254-256.

CUADERNOS TÉCNICOS DE LA FAO

BOLETINES DE SERVICIOS AGRÍCOLAS DE LA FAO

1	La planificación agrícola en las fases iniciales del desarrollo, 1969 (E F I)	24	Lista mundial de institutos que se ocupan de investigación textil, 1974 (E/F/I)
2	La planificación de las medidas para el desarrollo agrícola, 1970 (E F I)	25	El aprovechamiento de las melazas, 1977 (E F I)
3	Karakul processing, 1969 (I)	26	Tea processing, 1974 (I)
4	Pan fabricado con harinas combinadas, 1969 (E F I*)	27	Some aspects of earth moving machines as used in agriculture, 1975 (I)
5	Secado al sol de frutas y hortalizas, 1969 (E F I)	28	Mechanization of irrigated crop production, 1977 (I)
6	Elaboración de la nuez del anacardo, 1969 (E F I)	29	Non mulberry silks, 1979 (I)
7	Tecnología de la producción de la harina de semilla de algodón para uso en los alimentos proteínicos, 1974 (E F I)	30	Machinery servicing organizations, 1977 (I)
8	Elaboración de la yuca, 1971 (Nueva edición, 1977, disponible (E, F, I) en la Colección FAO: Producción y Protección Vegetal, N° 3)	31	Rice husk conversion to energy, 1978 (I)
9	Nómina mundial de las instituciones de tecnología alimentaria, 1971 (E/F/I*)	32	Industrialización y aprovechamiento de la sangre animal, 1983 (C E I)
10	Tecnología de la producción de harinas comestibles y productos proteínicos del cacahuete (maní), 1971 (E F I)	33	Residuos agrícolas: compendio de las tecnologías, 1978 (E/F/I)
11	Tecnología de la producción de harinas comestibles y productos proteínicos a partir de la soja, 1975 (E F I)	33 Rev.	1. Residuos agrícolas: compendio de las tecnologías, 1982 (E/F/I)
12	Guía para instructores en la organización y dirección de cursos de capacitación en ingeniería agrícola, 1972 (E F I)	34	Acopio y análisis de datos relativos a la administración rural, 1977 (E F I)
12 Sup.	1. Elementos de maquinaria agrícola, Tomo 1, 1977 (E I)	35	Bibliografía de residuos agrícolas, 1978 (E/F/I)
12 Sup.	2. Elementos de maquinaria agrícola, Tomo 2, 1977 (E I)	36	China: rural processing technology, 1979 (I)
13	Elaboración de zumos de fruta, 1973 (E I)	37	Glosario ilustrado de máquinas para la elaboración del arroz, 1979 (Multil)
14	Aspectos ambientales relativos a la ordenación de los recursos naturales – agricultura y suelos, 1974 (E F I)	38	Pesticide application equipment and techniques, 1979 (I)
15	Manual on sericulture: Vol. 1 – Mulberry cultivation, 1976 (F I) Vol. 2 – Silkworm rearing, 1973 (F I) Vol. 3 – Silk reeling, 1972 (F I)	39	Elaboración de caña de azúcar en pequeña escala y aprovechamiento de los residuos, 1985 (E F I)
16	El empleo de aeronaves en la agricultura, 1972. (Nueva edición, 1974, disponible (E, F, I) en la Colección FAO: Agricultura N° 2)	40	On farm maize drying and storage in the humid tropics, 1980 (C I)
17	El almacenamiento hermético de los cereales, 1974 (E F I)	41	La investigación sobre administración rural para el desarrollo del pequeño agricultor, 1980 (C E F I)
18	Rice testing methods and equipment, 1973 (C I)	42	China: sericulture, 1980 (I)
19	Diseño y funcionamiento de almacenes frigoríficos, 1973 (E F I)	43	Prevención de las pérdidas de alimentos en los cultivos percederos, 1984 (E F I)
19/2	Proyecto y explotación de almacenes frigoríficos, 1985 (Ar E F I)	44	Replacement parts for agricultural machinery, 1981 (I F)
20	Processing of natural rubber, 1973 (I)	45	Agricultural mechanization in development: guidelines for strategy formulation, 1981 (F I)
21 Rev.	1. Residuos agrícolas: repertorio mundial de instituciones, 1978 (E/F/I)	46	Cultivos energéticos y cultivos alimentarios, 1981 (E F I)
21 Rev.	2. Residuos agrícolas: repertorio mundial de instituciones, 1982 (E/F/I)	47	Residuos agrícolas: bibliografía 1975 81 y encuesta cuantitativa, 1982 (E/F/I)
22	Rice milling equipment operation and maintenance, 1974 (C I)	48	Plastic greenhouses for warm climates, 1982 (I)
23	Rice drying (I**)	49	China: grain storage structures, 1982 (I)
		50	China: post harvest grain technology, 1982 (I)
		51	El intermediario comercial privado y el desarrollo rural, 1983 (E F I)
		52	Aeration of grain in subtropical climates, 1982 (I)
		53	La elaboración y almacenamiento de los cereales por las familias rurales, 1983 (E F I)
		54	Biomass energy profiles, 1983 (F I)
		55	Manejo, clasificación y utilización de la lana, 1984 (Ar E F I)
		56	Rice parboiling, 1984 (F I)
		57	Servicios de información comercial, 1986 (E F I)
		58	Marketing improvement in the developing world, 1984 (I)

59	Técnicas tradicionales de postcosecha para la conservación de los alimentos básicos perecederos de los trópicos, 1984 (E F I)	86	Estrategias para la planificación del seguro de cosechas, 1991 (E I)
60	The retting of jute, 1985 (I F)	87	Guide pour l'établissement, les opérations et la gestion des banques de céréales, 1991 (F)
61	Producer gas technology for rural applications, 1985 (F I)	88/1	La ingeniería agraria en el desarrollo - Forja básica: manual de formación, 1993 (E I)
62	Standardized designs for grain stores in hot dry climates, 1985 (F I)	88/2	La ingeniería agraria en el desarrollo - Forja intermedia: manual de formación, 1993 (E I)
63	Glosario de administración rural, 1985 (E/F/I)	88/3	La ingeniería agraria en el desarrollo - Forja avanzada: manual de formación, 1998 (I E F)
64	Manual on the establishment, operation and management of cereal banks, 1985 (I F)	89	Post harvest and processing technologies of African staple foods: a technical compendium, 1991 (I)
65	Contribución de la gestión agrícola al desarrollo de sistemas de financiación en el medio rural, 1985 (E F I)	90	Wholesale markets – Planning and design manual, 1991 (I)
66	Construction of cribs for drying and storage of maize, 1985 (F I)	91	La ingeniería agraria en el desarrollo: directrices para reconstruir piezas y conjuntos de repuesto, 1993 (E I)
67	Hides and skins improvement in developing countries, 1985 (C F I)	92	La ingeniería agraria en el desarrollo: programas de capacitación y educación en recursos humanos, 1992 (E F I)
68	Tropical and sub tropical apiculture, 1986 (I)	93	La ingeniería agraria en el desarrollo – Manejo y tratamiento de granos poscosecha: organización y técnicas, (E F)
68/2	Honeybee mites and their control – a selected annotated bibliography, 1986 (I)	94	Minor oil crops: Part I – Edible oils, Part II – Non edible oils, Part III – Essential oils, 1992 (I)
68/3	Control de calidad de la miel y la cera, 1990 (E I**)	95	Biogas processes for sustainable development, 1992 (I)
68/4	Beekeeping in Asia, 1986 (I)	96	Small scale processing of microbial pesticides, 1992 (I)
68/5	Honeybee diseases and enemies in Asia: a practical guide, 1987 (I)	97	Technology of production of edible flours and protein products from soybeans, 1992 (I)
68/6	Beekeeping in Africa, 1990 (I)	98	Small , medium and large scale starch processing, 1992 (I F)
69	Construction and operation of small solid wall bins, 1987 (I)	99/1	La ingeniería agrícola en el desarrollo: formulación de una estrategia para la mecanización – Vol. I – Concepto y fundamentos, 1993 (E F I)
70	Paddy drying manual, 1987 (I)	100	Glosario de términos de seguros agrícolas y financiación rural, 1994 (E F I)
71	Agricultural engineering in development: guidelines for establishment of village workshops, 1988 (C F I)	101	Data palm products, 1993 (I)
72/1	Agricultural engineering in development – The organization and management of replacement parts for agricultural machinery - Vol. 1, 1988 (I)	102	Experiencias de mercadeo de pequeños agricultores en el marco de proyectos de desarrollo rural integrado, 1992 (E)
72/2	Agricultural engineering in development - The organization and management of replacement parts for agricultural machinery - Vol. 2, 1988 (I)	103	La banca y el medio ambiente, 1993 (E I)
73/1	Mulberry cultivation, 1988 (I)	104	Agricultural engineering in development: agricultural tyres, 1993 (I)
73/2	Silkworm rearing, 1988 (I)	105	Apicultura práctica en América Latina, 1993 (E)
73/3	Silkworm egg production, 1989 (I)	106	Promoting private sector involvement in agricultural marketing in Africa, 1993 (F I)
73/4	Silkworm diseases, 1991 (I)	107	La comercialización de alimentos en los grandes centros urbanos de América Latina, 1993 (E)
74	Avances en la ingeniería agrícola: técnicas de almacenamiento, 1990 (E F I)	108	Plant tissue culture: an alternative for useful metabolite production, 1993 (I)
75	Rural use of lignocellulosic residues, 1989 (I)	109	Grain storage techniques – Evolution and trends in developing countries, 1994 (I F)
76	La comercialización de productos agrícolas – manual de consulta e instrucción para extensionistas, 1990 (E F I)	110	Principios y prácticas de prueba y evaluación de máquinas y equipos agrícolas, 1994 (E F I)
77	Economics of animal by products utilization, 1989 (I)	111	Sistemas de distribución urbana de alimentos de bajos costos en América Latina, 1994 (E)
78	Seguro agrícola, 1989 (E I)	112/1	Equipo portátil de aplicación de pesticidas para uso en agricultura – Vol. I, 1996 (E F I)
79	Handbook of rural technology for the processing of animal by products, 1989 (I)	112/2	Equipo de aplicación de pesticida para uso en agricultura – Vol. 2, Equipo impulsado mecánicamente, 1996 (I F E)
80	Sericulture training manual, 1990 (I)		
81	Elaboración de aceitunas de mesa, 1991 (E)		
82	La ingeniería agraria en el desarrollo: directrices para proyectar y construir almacenes en las aldeas, 1991 (E F I)		
83	Agricultural engineering in development: tillage for crop production in areas of low rainfall, 1990 (I)		
84	La ingeniería agrícola en el desarrollo: la selección de insumos de mecanización, 1991 (E F I)		
85	Agricultural engineering in development: guidelines for mechanization systems and machinery rehabilitation programmes, 1990 (I)		

- 113 Mantenimiento y funcionamiento de silos, 1994 (E I)
- 114 Seed marketing, 1994 (I)
- 115 La selección, prueba y evaluación de máquinas y equipos agrícolas - Teoría, 1995 (I F E)
- 116 La protección de los depósitos - Lo que enseña la experiencia, 1996 (I E)
- 117 Quality assurance from small-scale rural food industries, 1995 (I)
- 118 Pollination of cultivated plants in the tropics, 1995 (I)
- 119 Fruit and vegetable processing, 1995 (I)
- 120 El crédito prendario - Una metodología para desarrollar los mercados agrícolas, 2000 (E I)
- 121 Retail markets planning guide, 1995 (I F)
- 122 Harvesting of textile animal fibres, 1995 (I)
- 123 Hides and skins for the tanning industry, 1995 (I)
- 124 Value-added products from beekeeping, 1996 (I)
- 125 Servicios de información de mercados – Teoría e práctica, 2001 (I E F)
- 126 Strategic grain reserves – Guidelines for their Establishment, management and operation, 1997 (I)
- 127 Guidelines for small scale fruit and vegetable processors, 1997 (I)
- 128 Renewable biological systems for alternative sustainable energy production, 1997 (I)
- 129 Credit guarantees – An assessment of the state of knowledge and new avenues of research, 1998 (E)
- 130 L'étude des SADA des villes dans les pays en développement – Guide méthodologique et opérationnel, 1998 (F)
- 131 Les SADA des villes, 1998 (F)
- 132 Aliments dans les villes – Collection d'ouvrage 1, 1998 (F)
- 133 Aliments dans les villes – Collection d'ouvrage 2, 1998 (F)
- 134 Fermented fruits and vegetables – A global perspective, 1998 (I)
- 135 Export crop liberalization in Africa – A review, 1999 (F I)
- 136 Silk reeling and testing manual, 1999 (I)
- 137 The use of spices and medicinals as bioactive protectants for grains, 1999 (I)
- 138 Fermented cereals – A global perspective, 1999 (I)
- 139 Derecho y los mercados – El mejoramiento del ambiente legal para la comercialización agrícola, 2001 (I E)
- 140 Wholesale market management – A manual, 1999 (I)
- 141 Market infrastructure planning – A guide for decision-makers, 1999 (I)
- 142 Fermented grain legumes, seeds and nuts – A global perspective, 2000 (I)
- 143 Food into cities – Selected papers, 2000 (I)
- 144 Sugar processing and by-products of the sugar industry, 2001 (I)
- 145 Agricultura por contrato – Alianzas para el crecimiento, 2002 (I F E)
- 146 Principles and practices of small- and medium-scale fruit juice processing, 2001 (I)
- 147 Zero tillage development in tropical Brazil – The story of a successful NGO Activity, 2001 (I)
- 148 Small-scale palm oil processing in Africa, 2002 (I)
- 149 Handling and preservation of fruits and vegetables by combined methods for rural areas – Technical manual, 2002 (I)
- 150 Egg marketing – A guide for the production and sale of eggs, 2003 (I)
- 151 Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas, 2004 (E I)
- 152 The role of post-harvest management in assuring the quality and safety of horticultural crops, 2004 (I)
- 153 Calidad y competitividad de la agroindustria rural de América Latina y el Caribe, 2004 (E)
- 154 Guía de autoevaluación rápida para la pequeña industria alimentaria rural, 2004 (E)
- 155 Transporte rural de productos alimenticios en América Latina y el Caribe, 2004 (S)
- 156 Food engineering, quality and competitiveness in small food industry systems with emphasis on Latin America and the Caribbean, 2004 (I)
- 157 Small mills in Africa – selection, installation and operation of equipment , 2005 (I)
- 158 Freezing of fruits and vegetables – An agribusiness alternative for rural and semi-rural areas, 2005 (I)
- 159 Insurance of crops in developing countries (I)
- 160 Addressing marketing and processing constraints that inhibit agrifood exports – A guide for policy analysts and planners, 2005 (I)
- 161 Rural–urban marketing linkages – An infrastructure identification and survey guide, 2005 (I)
- 162 Utilización agroindustrial del nopal, 2006 (E)
- 163 Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca, 2007 (E)

Disponibilidad: marzo de 2007

Ar – Árabe	Multil – Multilingüe
C – Chino	* – Agotado
E – Español	** – En preparación
F – Francés	(E F I) – Ediciones separadas
I – Inglés	en español, francés
P – Portugués	e inglés
	(E/F/I) – Edición trilingüe

Los cuadernos técnicos de la FAO pueden obtenerse en los Puntos de venta autorizados de la FAO, o directamente solicitándolos al Grupo de Ventas y Comercialización, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Roma, Italia.

