



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

ALTERNATIVAS PARA LA INDUSTRIALIZACION DE LA YUCA (Manihot esculenta Crantz)

TRABAJO MONOGRAFICO DE ACTUALIZACION QUE PARA OBTENER EL TITULO DE: QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO PRESENTA: SILVANO MAURICIO SEBASTIAN SANCHEZ SANCHEZ



MEXICO, D. F.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

EXAMENES PRO... FACULTAD DE QUIMICA

2002



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado Asignado:

- PRESIDENTE:** Prof. Enrique García Galiano Pérez
- VOCAL:** Prof. Pedro Valle Vega
- SECRETARIO:** Prof. Olga Velázquez Madrazo
- 1er. SUPLENTE:** Prof. Zoila Nieto Villalobos
- 2do. SUPLENTE:** Prof. Francisco Javier Casillas Gómez

Sitio donde se desarrolló el tema

A.P.R.I. S.A. de C. V. (GRUPO LEO), VILLAHERMOSA TABASCO.

ASESOR DEL TEMA: T. Q. ENRIQUE GARCÍA GALIANO PÉREZ.

SUSTENTANTE: SILVANO MAURICIO SEBASTIÁN SÁNCHEZ SÁNCHEZ.

PRÓLOGO

Vivimos la era de la comunicación, la cual establece que todas las experiencias del quehacer humano quedan plasmadas en un documento que pueda ser consultado, y que sirva de apoyo: es nuestro caso por las presentes y futuras generaciones de tecnólogos en alimentos, investigadores científicos, profesores y por toda persona interesada en el desarrollo tecnológico de nuestros recursos agrícolas y en general del trópico húmedo ya que a pesar de ser mexicanos desconocemos la riqueza y el potencial de estos recursos agrícolas que abundan en nuestro suelo y que en el futuro podrían ser parte de la solución de los problemas alimentarios teniendo como soporte la difusión de la información.

Actualmente la información científica sobre el uso de la yuca y su industrialización alimentaria está en una etapa de proyecto en México. En cambio, la información referente al uso de la yuca en nutrición animal es abundante, pero poco difundida, por lo que se hace necesario recopilar toda la información disponible, para evaluarla y realizar un documento completo y actualizado.

El presente trabajo tiene como objetivo establecer por medio de la investigación bibliográfica, cuáles son los avances y trabajos realizados a nivel nacional e internacional sobre el uso de la yuca, producción, utilización de los productos de la yuca en la industria alimentaria y en la nutrición animal, así como indicar las posibles orientaciones para el futuro crecimiento de esta industria.

GRACIAS

SILVANO MAURICIO SEBASTIÁN SÁNCHEZ SÁNCHEZ

ÍNDICE

I.-	INTRODUCCIÓN	1
II.-	GENERALIDADES Y CULTIVO	5
	La planta	7
	Las prácticas agrícolas	9
	Preparación del terreno	9
	Plantación	10
	Cultivo	13
	Condiciones climáticas	14
	Suelo	15
	Fertilización	15
	Enfermedades y plagas	16
	Toxicidad	17
	Variedades	18
	Recolección	22
	Rendimiento	23
	Mecanización	25
III.-	HARINA DE YUCA Y ALMIDÓN	29
	Abastecimiento de raíces de Yuca	30
	Operaciones de elaboración	32
	Importancia de una rápida elaboración	32
	Mondado y lavado	32
	Rallado o pulpado	35
	Tamizado	40
	Sedimentación y purificación del almidón	45
	Secado	59
	Acabado y empaquetado	63
IV.-	PRODUCTOS DE TAPIOCA ELABORADOS AL HORNO	67
	Preparación de la harina húmeda	67
	Gelatinización	67

	Deshidratación	71
V.-	LAS FÁBRICAS DE ALMIDÓN DE YUCA	72
	Fuerza motriz	72
	Agua	73
	Tipos de fábricas	75
	Disposición de fábricas	76
	Diagramas de operación	79
VI.-	UTILIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS DE YUCA	80
	Empleo de la yuca en la alimentación humana	80
	Principales elementos componentes y valor nutritivo	81
	Yuca cruda y cocida para consumo inmediato	83
	El almidón de yuca y sus usos	85
	Industrias alimentarias	87
	Industria de la glucosa	89
	La yuca en las harinas compuestas	94
	La yuca en la alimentación animal (forrajes)	97
	Usos no alimentarios	99
	Productos fermentados	105
	Alcohol de yuca	105
	Levadura seca	106
	Condiciones de competencia de la yuca	118
VII.-	CONTROL DE CALIDAD DE LOS PRODUCTOS DE YUCA	111
	Análisis de las materias básicas	111
	Elaboración de ensayo en pequeña escala	113
	Análisis del contenido de almidón de raíces frescas y de pulpa	114
	Determinación de la calidad de la harina y el almidón	127
	Tamaño de la malla	119
	Apariencia en seco	119

Limpieza	120
Pulpa	121
Viscosidad	122
Ceniza	124
Humedad	124
Acidez	125
Nitrógeno	127
VIII.- FUTURO Y DESARROLLO DE LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LA YUCA	127
Producción	127
Elaboración y mercadeo	128
Futuro de la industria de la yuca	129
Fabricación de pan, pastas para sopas, harinas preparadas para Hotcakes y chips cassava	131
Forrajes (piensos)	132
IX CONCLUSIONES	134
APÉNDICES	140
1.- Normas para la harina de yuca	140
2.- Especificaciones para el almidón	141
3.- Equipos de procesos para una fábrica de almidón de yuca.	142
X.- BIBLIOGRAFÍA	145

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Como planta cultivada, la yuca se originó en dos zonas geográficas del Continente Americano; al sureste de México en el límite con Guatemala; y en el noreste de Brasil. En el estado de Tabasco se localiza en las milpas, huertos familiares y monocultivo en la sabana de Huimanguillo.

Los primeros colonos portugueses vieron que los indígenas nativos de Brasil cultivaban la planta de yuca, y Pierre Martyr, en 1494, escribía que "las raíces venenosas" de una yuca se empleaban en la preparación de pan. Se cree que la yuca se introdujo de la costa occidental de África alrededor del siglo XVI por los mercaderes de esclavos. Los portugueses la llevaron más tarde a sus emplazamientos alrededor de la desembocadura del río Congo y luego las propagaron a otras partes. En 1854 Livingstone describió la preparación de la harina de tapioca en Angola y luego Stanley describió su empleo en el Congo. El cultivo de la yuca aumentó después de 1850 en los territorios de África oriental como consecuencia de los esfuerzos realizados por los europeos y los árabes en sus penetraciones hacia el interior, quienes se dieron cuenta de su valiosa utilidad como salvaguardia contra los frecuentes períodos de escasez de alimentos.

En el lejano oriente, la yuca no se conoció como planta alimenticia hasta 1835. Alrededor de 1850, se transportó directamente de Brasil a Java, Singapur y Malasia. El cultivo de la yuca se desplazó a otras partes de Indonesia donde alcanzó gran prosperidad. Durante el período 1919-1941, alrededor del 98% de la producción de harina de tapioca se obtenía en Java, pero durante la Segunda Guerra Mundial, el Brasil mejoró y aumentó su producción (Koch, 1954).

En la actualidad, la yuca se cultiva en todo el mundo tropical y ocupa el segundo lugar en importancia, superado solo por la batata, como raíz feculenta de los trópicos. (L'Ávenir, 1989).

La planta de yuca ha sido clasificada por los botánicos como *Manihot utilissima* Pohl, de la familia Euphorbiaceae. Sin embargo, a partir de 1989 (L'Ávenir, 1989) se está empleando cada vez más el nombre de *Manihot esculenta* Crantz.

La planta se conoce corrientemente con diferentes nombres:

- Ubi Ketella o Kaspé (Indonesia)
- Manioc
- Rumu o Yuca (América Latina)
- Mendioca o Aipim (Brasil)
- Tapioca (India, Malasia)
- Cassava y algunas veces cassada (regiones de habla inglesa en África, Tailandia y Sri Lanka).

El término "yuca" (manioc en los países de habla francófono) se suele aplicar en Europa y en los Estados Unidos de América para designar las raíces de la planta de Yuca. El término "tapioca" está derivado de tapioca, nombre que dan los indios tupis a la harina de yuca que se deposita en el líquido exprimido de los tubérculos rallados y convertidos en bolitas, llamadas después tipocet.

Como crece con facilidad, tiene gran rendimiento y apenas es afectada por enfermedades y plagas, las zonas dedicadas a su cultivo están aumentando constantemente. La planta de yuca se cultiva por sus tubérculos comestibles, que sirven como alimento básico en muchos países tropicales, y también es la fuente de un almidón valioso. Su utilidad para paliar las épocas de escasez graves ha sido reconocida ya desde hace tiempo. En regiones del lejano oriente, durante la Segunda Guerra Mundial, mucha gente pudo sobrevivir a base de raíces de yuca, y en África, sirvió de base como alimento principal para los trabajadores ocupados en las minas y en los centros industriales.

En la actualidad se está cultivando ampliamente como planta alimenticia o para fines industriales. En muchas regiones de los trópicos, la yuca ocupa el mismo lugar que las patatas en algunas partes de las zonas templadas por ser el principal carbohidrato de la dieta. Cada año aumenta más la utilización de las raíces de yuca. (Acherry, 1992).

En los primeros decenios de este siglo se consideró a la yuca responsable del rápido agotamiento de los claros forestales, pero los últimos experimentos efectuados en muchas partes de los trópicos demostraron que no es un cultivo que agote el suelo.

Después de la Segunda Guerra Mundial, se ha generado una apreciación más equilibrada de este cultivo. Un mayor número de científicos, agrónomos, tecnólogos en alimentos y sociólogos se han percatado de su importancia en los países en desarrollo donde se produce con más frecuencia. En muchos países se esta dando más importancia a la investigación para el mejoramiento de la producción y la utilización de la yuca. (Acherry, 1992).

CAPÍTULO II

GENERALIDADES Y CULTIVO

La planta del género *Manihot* crecen en forma natural solamente en América Tropical, en donde se conocen aproximadamente 120 especies diferentes. (Acosta, 1991).

La familia de las *Euphorbiaceae*, a la cual pertenece *M. esculenta*, presenta otros varios géneros de importancia alimenticia en los pueblos tropicales y algunos de éstos son:

Antidesma, *Bride*, *Lia*, *Drypetes*, *Hymenocardia*, *Jatropha*, *Mecacies*. Las del género *Manihot*, están más estrechamente ligadas a *M. esculenta*; de acuerdo a la información morfológica, ecológica y geográfica, y son:

M. cartaginesis, presente en todos los países que bordean al caribe y algunas de sus islas. *M. gualanesis* también llamadas: *M. digitiformis* y/o *M. dulcis*; en regiones húmedas de Sudamérica, (Perú, Bolivia y Brasil). *M. tweediana* y/o *M. flabellifolia*: en el sur de Brasil, Paraguay, Uruguay y Noreste Argentina. Varias especies poco conocidas al este de Brasil. *M. saxicola*: en el noroeste de Sudamérica en las áreas más húmedas de Guyana, Surinam y Venezuela. Sólo en unas pocas especies en la cuenca del Amazonas, a pesar de que la especie cultivada es abundante. *M. esculenta* y sus especies afines son todos arbustos de regiones tropicales baja.

Se ha observado que existe gran variación entre los diversos cultivares de *M. esculenta*, el cual sugiere que esta planta no se multiplicada por vía sexual en largo tiempo y que muchos de sus cultivares son estériles. (L'Avenir, 1989).

La nomenclatura científica de la mandioca, según la clasificación de Engler (1936), es la siguiente:

Division:	<i>Phanerogamas</i>
Subdivisión:	<i>Angiospermas</i>
Clase:	<i>Dicotiledoneas</i>
Subclase:	<i>Choripetales</i>
Orden:	<i>Liliiflora</i>
Suborden:	<i>Tracoccae</i>
Familia:	<i>Liliaceae</i>
Subfamilia:	<i>Crotonidae</i>
Tribu:	<i>Maniotae</i>
Género:	<i>Manihot</i> (Adanson Mill 1753)
Sección:	<i>Parvibracteae</i> (Mueller, Pohl Pax)
Especie:	<i>esculenta</i> (Crantz) <i>utilissima</i> (Pohl).

Desde el punto de vista agronómico la yuca, prácticamente no ofrece ningún problema de enfermedades y plagas: se adapta a una gran diversidad de suelos, resiste fuertes sequías, dando buenas cosechas con precipitaciones pluviales de 300 a 800 mm.; tiene gran margen de adaptabilidad a distintos niveles sobre el mar de 0 a 1500 metros. (Krochmal, 1986).

La yuca pasa por varios estados en el curso de su desarrollo. En el primer año se pueden señalar cuatro fases principales de actividad y que son caracterizadas por la formación o crecimiento de uno y otro de los órganos.

Éstas son:

Germinación de las estacas

Formación de sistema radicular

Desarrollo tallos y hojas

Engrosamiento de las raíces y acumulación de materias de reserva en sus tejidos. (Krochmal, 1986).

El segundo año es el período de actividad, comienza con la formación de nuevos tallos, hojas y termina con la acumulación de almidón y engrosamiento de las raíces, es decir que tiene dos fases activas, a las que sigue el reposo.

En esta forma puede seguir un tercer o cuarto año, si la planta no es cosechada. Estas diferentes fases de actividad han sido muy bien estudiadas en Madagascar.

LA PLANTA.

La planta es una planta perenne que crece bajo cultivo hasta una altura de unos 2 a 4 metros. Las hojas, anchas y palmeadas, tienen corrientemente de 5 a 7 lóbulos, soportados sobre un peciolo largo y delgado. Crecen solamente hacia el extremo de las ramas. A medida que la planta va creciendo el tallo principal se bifurca, generalmente en 3 ramas, que a su vez, se dividen de modo analógico; las raíces o tubérculos irradian desde el tallo por debajo de la superficie del terreno. Las raíces de alimentación que

crecen verticalmente desde el tallo y las raíces de almacenamiento penetran en el suelo hasta una profundidad de 50 – 100 cm y esta capacidad de la planta de yuca para conseguir nutrimento a una cierta distancia por debajo de la superficie puede contribuir a explicar su crecimiento sobre suelos de baja calidad.

Sobre la misma planta se producen flores masculinas y femeninas dispuestas en penacho sueltos. El fruto, de forma triangular contiene 3 semillas que son de forma variables y pueden emplearse para la propagación de la planta. El número de raíces tuberosas y sus dimensiones difieren mucho según la variedad de que se trate. Las raíces pueden llegar a alcanzar de 30 a 120 cm, de longitud y de 4 a 15 cm, de diámetro, y un peso de 1 a 8 Kg, o más. (Mendiola, 1982).

La piel de la raíz está formada por una capa de células suberosas y el felógeno. La capa suberosa es, generalmente de color oscuro y puede eliminarse raspándola en agua, que es como se hace en las lavadoras de las grandes fábricas. La parte interior de la piel contiene el felodermo y floema, que separan aquella del cuerpo de la raíz. Debido a la textura de la capa de transición, la piel se desprende fácilmente de la parte central, lo cual facilita el mondado de las raíces.

El peso de la capa de corcho oscila entre el 0.5 y el 2% de peso total del tubérculo, mientras que el de la parte interior de la piel varía entre el 8 y el 15%. En las raíces maduras, por lo general, esta parte tiene de 2 a 3 mm, de espesor. El contenido de almidón de la piel es sólo la mitad, aproximadamente, del núcleo. La estructura de la piel es más resistente, lo que hace difícil el raspado uniforme con las raspadoras primitivas, y las fábricas pequeñas prefieren pelar las raíces antes de proceder a su

elaboración. Sin embargo, en las grandes fábricas no resulta admisible la pérdida del almidón que supone la eliminación de la piel, por lo que se limitan a eliminar la capa de corcho. (Pedroza, 1993).

Las prácticas agrícolas.

Preparación del terreno.

Cuando la yuca se cultiva por primera vez en terreno forestal, no se requiere más preparación que la limpieza del crecimiento forestal. Sin embargo, cuando se cultiva después de otras cosechas, suele plantarse sin nueva preparación del suelo, una vez que se ha recolectado el cultivo anterior o se ha trabajado el suelo dos o tres veces hasta que queda libre de hierbas y otras plantas.

La limpieza del terreno forestal se hace para que penetre más luz solar en el suelo y para suprimir las malas hierbas y sotobosque que, de otro modo podrían competir con las plantas económicas. La práctica seguida en Asia sudoriental tropical es el desbroce completo del suelo forestal, incluida la eliminación de todas las raíces y otros obstáculos por debajo del suelo, cortando y quemando la cubierta forestal, arando luego con profundidad el terreno. Pero la práctica seguida en África consiste en quemar solamente la cubierta del terreno. El quemado solo elimina pequeñas ramas y sotobosque, pero no destruye la totalidad de los troncos y ramas. También destruye los parásitos del suelo, y la capa de ceniza aumenta la cantidad de sales potásicas disponibles para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, algunos informes señalan que, cuando se ha aplicado el desbroce completo del suelo en algunas partes de África,

se ha ocasionado el deterioro del suelo como consecuencia de la pérdida de nutrientes por lixiviación. (Rogers, 1993).

Plantación.

El cultivo de la yuca difiere según el fin a que se destine. La yuca se planta, bien como cultivo único, o como intercultivo con maíz, legumbres, hortalizas, caucho, palma aceitera, cacao, plátano, etc. La plantación mixta reduce el peligro de pérdidas causadas por agentes atmosféricos desfavorables y plagas, por esparcir el riesgo sobre plantas que tienen diferentes necesidades y susceptibilidades. (Darjranto, 1993).

Para fines agrícolas, la yuca se reproduce exclusivamente por medio de la multiplicación vegetativa mediante estacas; la propagación de la semilla solamente se emplea si la finalidad que se persigue es la selección, las semillas producen plantas con menor número de raíces y más pequeñas que las de los progenitores, y pueden suceder que queden sin germinar en absoluto hasta una mitad de las semillas. Por otra parte, las estacas tomadas de los tallos de la planta arraigan rápidamente y producen con facilidad plantas de carácter idéntico al de las plantas progenitoras.

Las estacas se obtienen de los tallos de las plantas que tengan por lo menos 10 meses y un diámetro de 2.5 a 3.5 cm. Después de la selección, se almacenan las estacas en un lugar seco, hasta la nueva plantación. Las estacas, cuya longitud deberá ser de unos 25 cm, se cortan de la parte inferior del tallo, desechando los primeros 20 cm. de este y aprovechando los siguientes 75-150 cm. Los procedentes de las partes superiores del tallo crecen más rápidamente, pero su rendimiento final es menor. El

mejor método consiste en atar los tallos en manojos, aserrarlos a la distancia indicada y tallar en punta la parte inferior de las estacas así obtenidas, teniendo cuidado de no estropear las yemas o de no causar daños a los tallos.

Experimentos realizados en Filipinas, acerca de la relación entre la edad de las estacas y los rendimientos, indicaron que las estacas tomadas 75 cm, o más por debajo del ápice del tallo dieron los mejores rendimientos de almidón. En otros experimentos se llegó a la conclusión de que la madera más vieja desde las áreas basales al punto medio de los tallos sobrepasó el rendimiento de materiales de programación tropical. (Cedillo, 1992).

Las estacas se plantan a mano o mediante máquinas de plantar. La plantación a mano se hace de una de estas tres maneras: vertical, horizontal por debajo de la superficie del suelo, o inclinada a 45° desde el nivel del suelo. Cuando las precipitaciones son escasas, la plantación vertical puede conducir a la desecación de las estacas, las estacas de plantación horizontal de 5 a 10 cm, por debajo de la superficie del suelo se recomiendan en climas secos y cuando se emplea la plantación mecánica. La germinación parece ser mayor, los tubérculos tienen una tendencia a originarse a partir de un gran número de puntos y a crecer más próximos a la superficie del suelo, aprovechando mejor los fertilizantes aplicados sobre la superficie y facilitando también la recolección. Por otra parte, la plantación vertical se usa en áreas lluviosas y la plantación inclinada en áreas semilluviosas.

Las estacas se plantan sobre suelo liso o sobre caballones montículos, algunos experimentos han demostrado que el trabajo en caballones produce rendimientos algo

menores que el cultivo liso, pero el trabajo de escarda y recolección se reduce grandemente por la plantación en caballones. La plantación mecánica sería imposible con surcos o sobre caballones por los que los terrenos lisos son los más convenientes para esto. La separación en el terreno es aproximadamente de 80-100 cm, entre hileras y las plantas están espaciadas a lo largo de las hileras a distancias variables para adaptarse a las condiciones de crecimiento locales. El número de plantas por Ha, varía según las diferentes regiones, entre 10,000 y 15,000.

El tiempo de plantación depende de las condiciones atmosféricas y de la disponibilidad de material de plantación. La yuca suele plantarse al comienzo de la estación de las lluvias. Con el fin de reducir el riesgo y para distribuir el duro trabajo del cultivo de un modo más uniforme la plantación de la yuca suele dividirse entre las dos estaciones de lluvias.

Sin embargo, la plantación suele hacerse a lo largo de todo el año en regiones en las que llueve siempre. Si los tallos se dejan durante mucho tiempo después de la recolección, no son capaces de enraizar y crecer bien. Por lo tanto, es conveniente plantar y recolectar al mismo tiempo.

La experiencia ha demostrado que desde el punto de vista de la producción de almidón, el desarrollo de la yuca resulta de máximo provecho cuando se planta al comienzo de una estación húmeda (es decir, en las regiones tropicales al comienzo del monzón húmedo). (Campese, 1989/ Dufournet, 1992).

Cultivo.

La yuca se cultiva frecuentemente como planta de sombra temporal en las plantaciones jóvenes de: cacao, café, caucho, cocotero. Sin embargo, en Tailandia, se cultiva en su mayor parte como cultivo único y el agricultor suele repetir la plantación, durante diez años o más, de un cultivo de yuca tras otro sobre el mismo terreno. Si baja el precio de la yuca, el agricultor puede cambiar de cultivo, por ejemplo: caña de azúcar, maíz, sorgo, hasta que aquella sea más rentable.

El agua es esencial para la planta hasta que está bien establecida. En suelos húmedos, la estaca echa brotes en una semana después de ser plantada. Por lo general, un 5% de las estacas no llega a arraigar, por lo que se ha de disponer de una reserva adecuada, pudiendo sustituirse las que han fallado por otras nuevas, hasta un mes después de iniciada la plantación.

Cuando se cultiva como planta de sombra temporal, no hay que prestar atención especial a la planta de yuca, sin embargo, cuando crece sola, la planta requiere poco mantenimiento después de su plantación. Puede ser necesario el riego si no hay lluvia suficiente, y el arado de la tierra contribuirá a mantener la humedad del subsuelo, especialmente en suelos secos y arenosos. El principal problema del mantenimiento de la planta es la lucha contra las malas hierbas. Puede ser conveniente escardar dos o tres veces hasta que las plantas están bien desarrolladas y su sombra evita el crecimiento de dicha maleza (Fauchère, 1991).

Condiciones climáticas

La yuca es una planta tropical típica. Los límites aproximados para su cultivo pueden considerarse en las latitudes 30° N y 30° S. Ahora bien, la mayor parte del cultivo de yuca está situado entre 20° N y 20° S. En general, la yuca necesita un clima cálido y húmedo. La temperatura es importante, ya que todo crecimiento cesa a unos 10°C. Es típico que esta planta se cultive en áreas exentas de heladas durante todo el año. Se puede esperar la máxima producción de raíz en tierras bajas tropicales por debajo de una altitud de unos 150 m, donde las temperaturas promedio alcanzan alrededor de 25-28°C, pero algunas variedades crecen en puntos situados a 1,500 m, aproximadamente de altitud.

Las mejores condiciones para la producción de la planta son las de abundancia de lluvia, pero puede crecer cuando la precipitación anual es tan baja como de 50 mm, o cuando llega a subir a 500 mm. La planta puede resistir periodos prolongados de sequía en los que la mayoría de las otras plantas alimenticias perecen. Esto hace que sea de gran utilidad en regiones en las que la lluvia es irregular. En climas tropicales la estación seca produce sobre la yuca el mismo efecto que la temperatura baja ejerce sobre las perennes caducifolias en otras partes del mundo. Este período de letargo dura de 2 a 3 meses y el crecimiento de la planta se reanuda cuando empiezan otra vez las lluvias.

En calidad de planta tropical, la yuca es una planta de día corto. Experimentos realizados en invernaderos han demostrado que el período óptimo de luz es de unas 12

horas, y que períodos de luz más prolongados inhiben la acumulación de almidón (Regnaudin, 1987/ Sanif, 1990).

Suelo.

Aunque la planta de yuca crece mejor sobre suelos francoarenosos ligeros, crece bien sobre suelos con textura entre arenosa y arcillosa y sobre suelos de fertilidad relativamente baja. En la práctica, se cultiva en suelos muy variados, a condición de que la textura del suelo sea lo suficientemente friable para permitir el desarrollo de los tubérculos.

La yuca puede producir una cosecha económica en suelos tan agotados por un cultivo repetido que hayan quedado inservibles para otras cosechas, pero sobre suelos muy ricos, esta planta es capaz de producir tallos y hojas a expensas de las raíces. En algunos territorios africanos, los suelos forestales recién desbrozados se consideran muy adecuadas después de que ha soportado un cultivo de cereales.

Fertilización.

No se necesita fertilización cuando el terreno está recién desbrozado o cuando hay suficiente tierra para que el cultivador pueda utilizar terreno nuevo en lugar del viejo cuando baja el rendimiento. Sin embargo, a semejanza de lo que ocurre con todas las plantas de crecimiento rápido productoras de carbohidratos, la yuca es muy exigente en cuanto a nutrientes y deja agotado el suelo muy rápidamente. Cuando la yuca se cultiva en un terreno durante unos cuantos años sucesivos o en rotación, ciertos nutrientes del suelo se reducirán y, por consiguiente, hay que sustituirlos mediante fertilización.

Varios experimentos realizados en Brasil, India y muchas regiones de África y del lejano Oriente han demostrado que mediante la aplicación de fertilizantes aumenta notablemente el rendimiento de raíces, así como el contenido de almidón. Las sales potásicas favorecen la formación de almidón, el nitrógeno y el fósforo son esenciales para el crecimiento. Sin embargo, si el suelo contiene grandes proporciones de nitrógeno asimilado, el resultado será un fuerte desarrollo del crecimiento vegetativo sin el correspondiente incremento en la producción de raíz.

En general, actualmente no se practica la fertilización en la mayor parte de África y Sudamérica, excepto en lo que se refiere a plantaciones en escala comercial. En Tailandia, únicamente unos pocos agricultores aplican abonos artificiales, debido a su costo elevado para el pequeño agricultor. Sin embargo, la mayoría de los agricultores emplean diversas clases de fertilizantes orgánicos y abonos tales como, estiércol de vacuno o de patos

Los tipos y cantidades de fertilizantes que se necesitan para el cultivo de la yuca dependen de la naturaleza del suelo. (Sanif, 1990).

Enfermedades y plagas.

En muchas regiones, la planta de yuca no suele estar afectada por enfermedades o plagas. Ahora bien, en otras regiones, puede ser atacada por:

- a) Enfermedades virales. Mosaico, faja parda y rizado de la hoja del tabaco que pueden atacar a las hojas, tallos y ramas. En muchas partes de

África existen estas enfermedades y se está tratando de seleccionar variedades resistentes a las mismas.

- b) Enfermedades bacterianas. Algunas clases de bacterias tales como *Phytophthora manihoti* en Brasil, *Bacterium sassava* en África y *B. Solanacearum* en Indonesia, pueden atacar a las raíces, los tallos o las hojas de las plantas de yuca.
- c) Micosis. Hay algunas micosis que atacan a las raíces, a los tallos o a las hojas de plantas de yuca y producen varias enfermedades.
- d) Insectos. Algunos insectos atacan a la planta directamente (langostas, escarabajos y hormigas), y otros atacan a la planta indirectamente por la transferencia de virus (áfidos).
- e) Animales: las ratas, las cabras y pécaris son probablemente los enemigos más perturbadores que se nutren de las raíces, especialmente en zonas adyacentes a los bosques. (Sohmer, 1990).

Toxicidad.

El principio tóxico en la yuca es el ácido prúsico o ácido cianhídrico, que se encuentran en las raíces, ramas y hojas de la planta tanto en forma libre como químicamente combinado. La planta contiene un glucósido cianogénico denominado faseolunatina ó linamarina, que empieza a desdoblarse durante la recolección dando ácido cianhídrico (HCN), acetona y glucosa, por la acción de la enzima linasa. La presencia de ácido cianhídrico es fácil de reconocer por su sabor amargo, y, en el

momento que el contenido de glucósido en la planta de yuca aumenta notablemente por la sequía por la deficiencia de potasio. (Sinha & Nair, 1989).

La hidrólisis del glucósido por la enzima puede acelerarse por remojo de las raíces en agua, aplastamiento o corte, o por la acción del calor (80°C), se ha visto que el contenido de ácido cianhídrico varía poco en los diferentes tubérculos de una planta, pero muchos en tubérculos procedentes de diferentes lugares. La distribución del ácido de las raíces varía según las diferentes variedades. En las variedades dulces, la mayor parte del ácido cianhídrico está localizado en la piel y en la capa cortical exterior, mientras que en las variedades amargas el ácido está uniformemente distribuido en todas las partes de las raíces. (Nijholt, 1991).

Al seleccionar una variedad debe tenerse en cuenta el contenido de ácido cianhídrico (HCN). En las plantaciones destinadas a la manufactura de almidón, se prefiere emplear variedades muy tóxicas para reducir al mínimo las depredaciones causadas por el hombre y los animales. (Nijholt, 1991).

Variedades.

Aunque la yuca es un cultivo comercial establecido en muchos países tropicales y existen centenares de variedades, se sabe generalmente poco de la nomenclatura e identificación de las variedades. Algunas de éstas se diferencian entre si por sus características morfológicas, tales como color de tallos, pecíolos, hojas y tubérculos,

pero en muchos casos, la misma variedad se conoce en varios sitios con diversos nombres.

Las numerosas variedades de yuca suelen agruparse con dos clases principales: *Manihot palmata* y *M. aipi*, o yuca amarga y dulce. Esta división tiene utilidad desde el punto de vista económico, y es difícil diferenciar los dos grupos por características botánicas. Sin embargo, la diferenciación entre ellos se basa en el contenido de ácido cianhídrico, que origina la toxicidad de las raíces. Esta toxicidad no es una constante de la variedad de un lugar a otro, considerándose actualmente todas las clases de yuca como variedades de *Manihot* útilissima o *M. esculente crantz*. El contenido del ácido cianhídrico tiende a aumentar en suelos pobres y en condiciones de sequedad. Se ha comprobado que las raíces no tóxicas o dulces son las que contienen menos de 50 mg, de ácido cianhídrico por Kg. de materia fresca (50 ppm) y amargas o tóxicas cuando contienen arriba de 100 mg/kg. (100ppm). (Nestel, 1992).

Antes se creía que la toxicidad de la raíz de yuca estaba relacionada con la especie o variedad, pero se comprobó que el contenido de ácido cianhídrico variaba notablemente según las condiciones de cultivo, el suelo, la humedad, la temperatura, estado fisiológico, región geográfica, características vegetativas (forma, tamaño y uniformidad en la raíz), altura sobre el nivel del mar, y edad de la planta. Por ejemplo, algunas variedades de África inocuas en Dahomey son tóxicas cuando se cultivan en suelos forestales en Nigeria y el tipo llamado amargo de Jamaica no produce la sustancia tóxica cuando se cultiva en Costa Rica. (Nijholt 1991).

La composición química de las raíces de yuca varía mucho. Actualmente se cuentan con las variedades "sabanera y costeña", con rendimientos hasta de 30 Tons/Ha. que es superior en 60% al rendimiento de las variedades criollas. Así mismo, se ha estimado el costo de producción de \$ 5.00 por Kg. de yuca para la región de la sabana de Huimanguillo, Tabasco. Estudios entre 30 variedades en México dieron los siguientes resultados: el contenido de materias seca de las raíces varía entre 24-52% con un promedio de 35%; el contenido de proteína oscilaba entre 1-6% con un promedio de 3.5 (Zetina, 1989).

El cuadro 1 está basado en un análisis realizado en Huimanguillo, Tabasco, para comparar raíces de yuca con papas. (Zetina, 1989).

CUADRO 1.- PROMEDIO DE LA COMPOSICIÓN DE LAS RAÍCES DE YUCA Y LAS PAPAS

(VARIETADES COMUNES EN EL MOMENTO DE COSECHA)

	YUCA	PAPAS
	PORCIENTO (%)	
HUMEDAD	70.25	75.0
ALMIDÓN	21.45	19.5
AZÚCARES	5.13	0.40
PROTEÍNA	1.12	2.50
GRASAS	0.41	0.28
FIBRA	1.10	1.35
CENIZA	0.54	0.97

Las variedades amargas suelen contener un promedio de 30% de almidón.

Para el desarrollo industrial, se están haciendo grandes esfuerzos para organizar la investigación y experimentación en varias regiones geográficas, con el fin de seleccionar nuevas variedades que den mayores rendimientos de raíces y un mayor contenido de almidón. Para conseguir mejoramientos nutricionales, se han buscado variedades de elevado contenido proteínico . (Zetina, 1989).

Recolección

La recolección de la yuca puede hacerse a lo largo del año cuando las raíces han alcanzado la madurez. En las regiones en las que hay lluvias estacionales, como sucede en Madagascar, la recolección suele hacerse en la temporada seca o durante el periodo latente de la planta, mientras que en regiones en las que prevalecen las lluvias todo el año, como ocurre en Malasia, la recolección se hace en cualquier época del año.

La madurez difiere de una variedad a otra, pero cuando los tubérculos se destinan a la alimentación, pueden recolectarse en cualquier edad por debajo de 2 meses.

Desde el punto de vista de la producción del almidón puede considerarse que la yuca está en sazón en el momento en que es mayor el rendimiento del almidón por hectárea. Los experimentos realizados en un clima tropical (Java) con ciertas estirpes de la variedad Sao Petro, dieron por resultado que la edad óptima es de 18-20 meses. (Vesey-Fitzgerald, 1990).

Si se dejan las raíces sobre el terreno, el contenido del almidón aumenta con el tiempo hasta llegar a un cierto punto, se produce lignificación y las raíces se hacen más duras y leñosas y, por consiguiente, más difíciles de preparar para el consumo y otros usos.

Una vez recolectadas las raíces, empiezan a deteriorarse dentro de unas 48 horas, debido al principio a cambios enzimáticos en las raíces y, luego, a putrefacción y desmedro. Pueden conservarse las raíces hasta una semana con refrigeración. Pueden

almacenarse en el terreno durante periodos más prolongados si las raíces no se separan de la planta.

La recolección es una operación manual, aunque se está tomando en consideración el equipo para facilitar esta operación. El día anterior de la recolección, las plantas se descabezan, se cortan los tallos a unos 40-60 cm, por encima del terreno, a mano, con machete o mecánicamente, y se apilan al lado del campo. Esta longitud se deja actuar como mango para el arranque. Se selecciona el material de la plantación necesario para la plantación siguiente y el resto se quema. En suelos ligeros, las raíces se extraen lentamente tirando del tallo o con la ayuda de una sencilla herramienta que es una especie de palanca, y los tubérculos se separan de la planta. Mientras que, en suelo fuertes, puede requerirse el uso de un azadón para sacar las raíces y luego se tira la planta.

Debe señalarse que, una vez que se han descabezado las plantas, el arrancado de las raíces no debe demorarse, puesto que puede producirse una germinación y un descenso rápido del contenido del almidón de los tubérculos. (Fauchère, 1991).

Rendimiento.

La yuca no suele cultivarse en suelos en que sería de máxima productividad, puesto que los francoarenosos ligeros, que son fértiles y profundos, se reservan para otros cultivos menos tolerantes a suelos pobres. Cuando se cultiva la yuca por métodos tropicales tradicionales, los rendimientos están comprendidos entre 5 y 20 Ton/ha, según la región, la variedad, el suelo y otros factores. Sin embargo, cuando se dedica

mayor atención al cultivo, se consiguen rendimientos de 30-40 Ton/ha, se ha informado que es común que algunas variedades, con método de cultivo apropiados, den rendimientos de más de 60 Ton/ha.

Los elevados rendimientos alcanzados frecuentemente en las estaciones experimentales agrícolas y, ocasionalmente, por algunos agricultores activos, sugieren lo que podría conseguirse con variedades seleccionadas y prácticas culturales mejoradas.

De todos modos, los rendimientos de yuca, en términos de calorías totales por hectárea, pueden compararse favorablemente con los de otros alimentos amiláceos básicos, como se ve en el cuadro 2. (Baumer, 1992).

CUADRO 2.- RENDIMIENTOS MEDIOS DE ALIMENTOS BÁSICOS AMILÁCEOS TROPICALES 1991.

	Brasil	Java	India	Taiwán
Millones de calorías por hectárea				
MAÍZ	4.4	2.4	2.3	5
ARROZ	3.9	3.9	2.8	5.5
ÑAME Y PAPA	5.4	5.4	5.6	8.6
YUCA	11.2	7.1	5.8	11.6

Fuente: FAO, Anuario de estadísticas agrícolas y alimentarias, 1992.

Mecanización

En la mayor parte de los países tropicales la yuca se cultiva en parcelas pequeñas. En cambio, en algunos países por ejemplo: México, Brasil y Nigeria, se han hecho grandes plantaciones y está aumentando el interés por la mecanización. El grado de mecanización depende de las dimensiones del terreno, de la mano de obra disponible en la zona y la política general en cuanto al empleo de la mano de obra.

El uso de la maquinaria para la preparación del terreno es preferible al trabajo manual para asegurar el mejor semillero posible para desarrollo de los tubérculos. Las operaciones subsiguientes de plantación, escarda, descabezado y recolección pueden hacerse a mano o mecánicamente.

La aplicación de la mano de obra para la producción de 1 Ha, de yuca varía mucho en las diferentes partes de los trópicos. En Zaire, se calculó que se necesitaban 778-830 horas-hombre/Ha, de yuca, abarcando la preparación de esquejes, plantación, escarda y recolección, frente a 1858-2206 horas-hombre/Ha, en Uganda. En América del Sur y la zona del Caribe se calculó un máximo de 494 horas-hombre/Ha, para las mismas operaciones. Unas de las posibles razones para las mayores necesidades en África es el cultivo de la yuca como cultivo mixto con otros, incluyendo operaciones que llevarán más tiempo. (Asprilla, 1988/ 1992).

La naturaleza peculiar del cultivo de la yuca presenta varios problemas para su mecanización, pero en algunos países la mecanización ha sido satisfactoria hasta cierto grado.

A continuación se describe brevemente la mecanización, tal cuando se usa en el cultivo de la yuca actualmente.

- a) la azada es el principal utensilio para cultivo. Escarda, y recolección.
- b) las operaciones fundamentales, como arado y gradeo, pueden hacerse con tractores.
- c) Un plantador mecánico fabricado en Brasil se está utilizando en este país y en México. Es un plantador de dos hileras que utiliza un tractorista y dos hombres sobre la máquina para cargar estacas desde artesas de reserva en la plataforma giratoria de plantación rotatoria. Al funcionar, las estacas caen sucesivamente, a través de un orificio, en un surco abierto por un surcador simple. Un par de discos lanzan la sujeción en el surco, y flotadores tirados por cadenas empaquetan el suelo sobre las estacas. La capacidad del plantador es de unas 5 Ha/día.
- d) Se ha creado una unidad para realizar el acaballado y la plantación modificando un plantador en caballones para trabajar como abresurcos plantador y un cultivador para trabajar como plantador de 6 hileras después de haber formado los caballones en el área. (Ingram, 1985).
- e) Una máquina sencilla que se emplea en México es una sierra de mesa, accionada por gasolina, empleada para preparar las estacas para plantación. Está máquina tiene la ventaja de la rapidez y la regularidad de las estacas producidas. Comparada por el trabajo manual, el ahorro de tiempo está en la relación de 3:1. (Zetina, 1989).

- f) Ha sido virtualmente imposible realizar la primera operación de escarda entre caballones por su cultivador. La escarda mecánica de las cabezas de los caballones presenta varias dificultades.
- g) Se perfecciona una máquina de descabezar, que consiste en un tamiz fuerte, montado sobre la frente de un tractor, para hacer descender las cabezas, y después una segadora rotatoria sobre el lomo del mismo tractor puede cortar las cabezas caídas para hacer posible la recolección manual. La altura a que pueden volver a cortarse las cabezas puede regularse fácilmente con cualquier segadora rotatoria. (Dates, 1991). La yuca no es un cultivo que se preste fácilmente a la recolección mecánica, debido a la forma de crecimiento de los tubérculos. Estos pueden esparcirse 1 m, al crecer en el terreno y penetrar hasta 50-60 cm, el uso inadecuado de la maquinaria para la recolección puede dañar los tubérculos, originando un oscurecimiento, como consecuencia de la oxidación, y disminución en la calidad de la harina. Sin embargo, en México y Tailandia se han empleado arados de reja para hacer menos molesta la recolección a mano. Los tallos pudieron cortarse satisfactoriamente por una segadora montada en el medio o una máquina de descabezar, y las raíces pudieron elevarse después mecánicamente empleando un terrazador de disco montado en medio. En Ghana, han podido recolectarse unos 20 Ha, en 2.5 horas por un tractor, mientras que, ordinariamente, se tarda 5 días-hombre. Se ha propuesto el empleo de una cosechadora modificada de patatas o de remolacha detrás del tractor, con un mecanismo de arranque, en lugar de las excavadoras de borde para elevar

los tubérculos tirando de los tallos cortados que quedan después del descabezado. (Rawnsley, 1989).

CAPÍTULO III

HARINA DE YUCA Y ALMIDÓN

Para la manufactura de la harina de yuca es esencial separar los gránulos de almidón del tubérculo en la forma más pura posible; los gránulos están encerrados en células, junto con todos los demás componentes del citoplasma. Es decir proteínas hidratos de carbono solubles, grasas, etc. que solamente pueden separarse mediante un proceso de purificación durante la fase de sus tratamientos con agua. La elaboración de almidón puede, por tanto dividirse en las siguientes fases:

1. Preparación y extracción. Trituración de las células y separación de las demás sustancias insolubles, es decir de las impurezas adheridas y del material que forma las paredes de la célula. Esta fase comprende las operaciones preparatorias de lavado y mondado de las raíces, de su rallado y del prensado de la pulpa añadiéndole agua.
2. Purificación. Sustitución por agua pura de la solución acuosa que rodea los gránulos de fécula o almidón en la masa que se obtiene en la fase 1. Esta fase comprende la sedimentación y lavado de la fécula en piletas y en canalizos o "mesas" de sedimentación, el depósito de las partículas por acarreo, la centrifugación, etc.
3. La deshidratación y secado. Eliminación del agua mediante centrifugación y desecación.
4. Acabado. Molienda, cernido y otras operaciones para completar la elaboración.

Este método de elaboración es esencial para preparar toda clase de fécula, sin embargo, en el caso de la yuca, debido principalmente a la cantidad relativamente pequeña de sustancias secundarias, la separación se hace con gran facilidad en todas las fases. Mientras que, en el maíz y otros cereales, la molienda de la semilla y la separación mecánica del germen y el pericarpio del grano presentan problemas especiales en la fase 1, y la separación de las proteínas y otras materias del citoplasma solo pueden conseguirse en la fase 2, con la ayuda de productos químicos, cuando se trata de la preparación de la yuca estas operaciones se reducen al mínimo. Realmente, se puede obtener una harina de primera calidad de la raíz de la yuca sin necesidad de equipo especial, usando simplemente agua pura, lo que hace que la elaboración de la harina de yuca sea una actividad muy apropiada para las industrias rurales. (Devroede, 1989).

Abastecimiento de raíces de yuca.

La mayor parte de las fábricas de almidón compran las raíces de yuca a cultivadores en su cercanía, directamente o mediante agentes. Sin embargo, algunas fábricas poseen sus propias plantaciones de yuca, las grandes fábricas modernas de elaboración suelen contratar a varios cultivadores de la zona para el suministro de las raíces. En este caso, la fábrica tiene que proporcionar asesoría técnica y financiera a los cultivadores. Debe asignarse a la fábrica ingenieros agrónomos para asesoría en el desarrollo de mejores prácticas de fabricación y realizar experimentos de control para la determinación de la adecuada variedad, fertilizantes y control de plagas e insectos en la zona. (Marassi, 1988).

En muchos países, los precios se convierten generalmente a base de un cierto contenido de almidón, con descuento o compensación, según sean las desviaciones con respecto a dicho contenido, que se determina con arreglo de la localidad y las variedades. El contenido del almidón en los tubérculos se determina subjetivamente por el representante de la fábrica, o bien por análisis químico objetivamente. La evaluación subjetiva se hace eligiendo una raíz de tamaño medio y rompiéndola en dos. Si el tubérculo se rompe con fuerza media, el cultivo se considera generalmente como maduro y la pulpa resultará firme blanca y seca. Estas raíces se consideran que tienen el máximo contenido de almidón de 30%. La pulpa con poco almidón resultante de tubérculos inmaduros, suele tener color ligeramente amarillento. Si se necesita mucha fuerza para reventar y el tubérculo, se considera que se ha lignificado y el cultivo ya no tiene su calidad óptima. (Eynon & Cane, 1988).

El análisis químico de los tubérculos constituye un método mejor para la determinación del contenido del almidón, pero requiere contar con un laboratorio de análisis físico – químico y con técnicos calificados.

En la mayoría de los casos el peso de la raíz se calcula en las plantaciones por medios sencillos que no son del todo exactos, y como consecuencia no reflejan los rendimientos precisos. Por lo que es recomendable el uso de básculas especiales en la fábricas para registrar los pesos de las raíces, así como los de los productos finales.

Operaciones de elaboración.

Importancia de una rápida elaboración.

Es fundamental en la elaboración del almidón de yuca completar todo el proceso en el menor tiempo posible, ya que la acción enzimática que generalmente tiene un efecto perjudicial en la calidad del producto final, puede desarrollarse tan pronto como se han extraído las raíces de la tierra, así como durante cada una de las fases sucesivas de la elaboración. Por esta razón, se requiere ante todo organizar bien el suministro de raíces, que deben producirse dentro de distancias relativamente cortas de la fábrica de elaboración y, además, ordenar de tal manera las fases de la elaboración que se reduzcan a un mínimo los retrasos de la manufactura.

Las raíces se reciben normalmente del campo lo más pronto posible después de la recolección, y no puede almacenarse durante un periodo de más de dos días. Como la presencia de materia leñosa o piedras pueden interferir gravemente con el proceso de rallado por parar o romper las cuchillas, los extremos leñosos de las raíces se cortan con cuchillas bien afiladas antes de pasar a las siguientes operaciones (Eynon & Cane, 1933).

Mondado y lavado.

En las fabricas pequeñas y medianas, se acostumbra normalmente a quitar la piel (piel y córtex) y a procesar solamente la parte central de la raíz, que es de textura mucho más blanda. Dado que las máquinas utilizadas son relativamente primitivas y la fuerza electromotriz escasa, la elaboración de toda raíz presentaría dificultades para el raspado y eliminación de las impurezas, de la fibra cruda y de las partículas de corcho,

a cambio de lo cual las cantidades adicionales de almidón que se obtendrán serían relativamente pequeñas.

La especial estructura de la raíz permite que el mondado se realice a mano con mucha facilidad (operación efectuada por mujeres). La labor comienza por la mañana tan pronto como se reciben las raíces y, como se ha de completar con la mayor rapidez posible, se precisa bastante mano de obra. Las raíces se cortan longitudinal y transversalmente hasta una profundidad que corresponda a la profundidad de la piel, la cual se quita entonces con facilidad, las impurezas que pueden quedar en la superficie lisa del cuerpo de la raíz son eliminadas sin inconvenientes con el lavado, y las raíces mondadas se colocan en pilétas de cemento, donde permanecen sumergidas en agua de río hasta que se sacan para rallarlas. El pisarlas repetidamente sirve para que se desprendan las impurezas que queden adheridas.

En las grandes fábricas es común que se procesen las raíces enteras. Se lavan antes para quitar la piel exterior de la raíz y la tierra y otra suciedad que pueda tener. Si las raíces están lo suficientemente maduras, puede quitarse la piel sin necesidad de usar cepillos. Únicamente la piel exterior o capa suberosa se elimina, puesto que resulta conveniente recuperar el almidón del córtex. La parte interior de la piel representa aproximadamente un 8-15% del peso de la raíz total.

La lavadora mecánica consiste en un depósito cilíndrico perforado sumergido en agua. Un cepillo helicoidal hace avanzar las raíces mientras estas se cepillan vigorosamente para quitar todas las impurezas. En uno de los extremos, la máquina

lleva una bomba centrífuga a una serie de chorros dispuestos frente a las caras portadoras frente al cepillo. Estos chorros fluyen en sentido contrario a la dirección de marcha de las raíces, asegurando así que se laven eficazmente.

Otra lavadora eficaz es un tambor rotatorio con una batería interior que rocía agua sobre las raíces. El tambor es de madera o metal perforado de unos 3 a 4 m, de longitud y alrededor de 1 m, de diámetro, con aberturas horizontales: está montado dentro de un tanque de hormigón. En algunos casos, hay paletas giratorias fijadas a lo largo del eje. El lavado se efectúa rociando agua sobre las raíces, con la ayuda de la abrasión de las mismas entre sí y contra las paredes del cilindro y las paletas.

Las raíces se cortan a mano desde un extremo y, a medida que salen del otro extremo, se limpian y se pelan parcialmente, siendo la acción continua. El agua sucia y la piel se drenan periódicamente por una pequeña abertura que hay en el tanque del hormigón.

Se han intentado algunas pruebas en Brasil para el pelado completo de las raíces con objeto de producir un almidón blanco, empleando también equipo de cobre, latón o bronce, en lugar de hierro, cuyo contacto con el almidón húmedo puede dar lugar en la formación de ferrocianuro (consecuencia de la reacción de hierro y ácido cianhídrico HCN), que da al almidón un color azulado.

En las fábricas modernas, las raíces de yuca se lavan previamente remojándolas en agua para separar la suciedad más tosca y luego se pasan através de un aparato combinado de lavado y pelado, como se ha descrito antes. (Edwards 1994).

Rallado o pulpado.

Para liberar los gránulos de almidón, es necesario romper todas las paredes celulares. Esto puede hacerse por medios bioquímicos o mecánicos. El método bioquímico, que es antiguo, se realiza por la fermentación de raíces de yuca hasta una cierta fase y luego amasando hasta obtener una pulpa, y el almidón se lava separando la pulpa con agua. Este método es antiguo no da rendimientos completos y la calidad del almidón obtenido es baja.

La acción mecánica se lleva a cabo cortando las raíces y luego rallando, raspando o aplastando las mismas, con lo cual se desgarran la carne y se obtiene una pulpa fina.

Presionando las raíces contra una superficie provista de salientes puntiagudas o animada de un movimiento rápido, se desgarran las paredes de las células y toda la raíz se convierte en una masa en la que quedan libres la mayor parte, aunque no la totalidad, de los gránulos de almidón. El porcentaje de almidón liberado recibe el nombre de efecto rallador o de rallado. Su valor tras un rallado puede oscilar entre 70-90%; por lo tanto, la eficacia de esta operación determina en una gran parte el rendimiento total de almidón en la manufactura. Es difícil separar en una sola operación todo el almidón, incluso con dispositivos de rallado eficientes. Por consiguiente la pulpa

suele someterse a un segundo proceso de rallado después de la lamización. El rallado se realiza de diferentes formas de eficacia variable. (Edwards, 1994).

Rallado secundario o molienda.

En vista de estos resultados, no es extraño que el efecto rallador varíe bastante de unas fábricas a otras. En las modernas, se puede estimar que el primer rallado, se obtiene un efecto del 85% aproximadamente, pero, a estos niveles de producción, resulta económico someter la pulpa a una nueva trituración, bien en un segundo rallador o en molinos especiales en los que se efectúa el molido de la pulpa por medio de muelas. Sin embargo, estos trituradores no parecen haber tenido gran aceptación por parte de los elaboradores de yuca.

En el rallador secundario, el dentado de las cuchillas de sierra debe ser algo más fino, unos 10 dientes por cm, en vez de los 8 dientes por cm, para el primer rallador: en una fábrica de tamaño mediano que empleaba un solo rallador Jahn, la capacidad máxima era de 3 toneladas de raíces por hora: en otra de mayor importancia, que utilizaba ralladores primario y secundarios, el rendimiento de cada unidad, constituida por rallador de cada uno de los dos tipos, se elevaba por hora al doble de dicha cifra.

Rallado a Mano y Mecánico.

El rallado manual, se utiliza en las pequeñas fincas utilizándose para este objeto esteras de bambú. Donde la producción diaria asciende a algunos centenares de kilogramos de harina, se emplean instrumentos mecánicos sencillos.

Se obtiene un rallador sencillo, pero eficaz, perforando con un clavo una plancha de hierro galvanizado y fijando ésta sobre una rueda, de modo que los bordes salientes y filosos de los agujeros queden hacia la parte exterior. La rueda puede ser accionada a mano o a través de pedales; el operador coloca las raíces presionándolas contra la superficie de la ralladora en una de las caras laterales del disco giratorio dotado de una transmisión de manivela y que es movida con el pie. La pulpa se recoge en cestos o recipientes de madera para llevarla a los tamices.

En las fábricas modernas el rallado mecanizado basa su principio en el sistema anterior con la diferencia de que el movimiento del disco perforado y de agujeros afilados se transmite por motores de hasta 3 HP, de potencia.

Ralladores Hidráulicos.

Los ralladores hidráulicos son de mayor tamaño y pueden ser empleados cuando se dispone de agua corriente (represas, ríos). El movimiento de la rueda hidráulica se transmite por medio de un volante y de bandas de transmisión a una polea montada en el eje del tambor rallador. Éste tiene de 20 a 30 cm, de diámetro y va fijado a una estructura de madera; o bien se monta en una mesa ralladora. El operador, que se sienta a la mesa, presiona las raíces contra el tambor. La masa rallada pasa por una estrecha abertura existente entre el tambor y la plataforma, antes de caer al depósito receptor, desde el que se lleva a los tamices.

Los ralladores mencionados, hechos de hojalata perforada, aunque muy empleados por ser económicos, son relativamente poco eficaces y exigen la sustitución frecuente de las planchas ralladoras que se desgastan rápidamente. (Flaws, 1988).

Ralladores Mecánicos.

Cuando la capacidad de elaboración excede de un cierto límite por ejemplo el tratamiento de 10 toneladas o más diarias de raíces frescas es más económico recurrir a los ralladores mecánicos. El modelo común es el llamado rallador Jahn. La máquina lleva un rotor de madera dura o de acero inoxidable, de unos 50 cm, de diámetro, y una serie de estrías longitudinales en las que van las cuchillas ralladoras. El número de dientes de estas hojas varía de 10 a 12 por cm, según las necesidades, y se colocan en el rotor a distancias de 6-7 mm.

Las máquinas más modernas llevan dispositivos que devuelven a la superficie de la ralladora los trozos de raíz que han escapado por los lados. La pulpa tiene que pasar por una criba con ranuras o agujeros de bordes afilados a través de la cual se homogeniza en un cierto grado, y en la que se verifica, en la práctica una segunda trituración (Flaws, 1988).

Consumo de Energía Durante el Rallado.

Para obtener el máximo efecto rallador (porcentaje de almidón liberado), el suministro de energía debe acomodarse exactamente a las características de

construcción del rallador, es decir, a la distancia entre la superficie del rotor y las planchas afiladas del armazón de éste. Existe pues una velocidad óptima para el rallado, que corresponde por un lado a la necesidad de conseguir un efecto rallado elevado y por otro a la de economizar energía. A este efecto, debe recordarse que sólo cuenta la velocidad lineal de la superficie ralladora. Se ha observado en la práctica que un rallador de tamaño normal, es decir con un rotor de 40-50 cm, de diámetro y de 30-50 cm, de longitud, debe funcionar a una velocidad de 1,000 revoluciones por minuto, lo que corresponde a una velocidad lineal de una superficie ralladora de unos 25 m/seg, la energía del motor necesaria para accionar un solo rallador de este tipo es de 62 a 67 Kw-h/Ton, de fécula libre producida. En la mayoría de los casos se emplean motores diesel.

Variación de la resistencia de las raíces al rallado.

Cuando el rallador funciona a la velocidad óptima o próximo a ella, tanto el efecto de rallado como la energía necesaria por cada 1,000 kg, de raíces frescas dependen todavía en gran parte de la clase de raíces que se procesen. En el cuadro 3 se comparan los resultados obtenidos con 5 variedades diferentes de yuca, pelada y sin pelar en un pelador experimental accionado por electricidad, cuya forma o condiciones de trabajo eran en lo posible las más aproximadas a la existentes en las fábricas de tamaño mediano. Como era de suponer, los valores elevados del efecto rallador están en relación con un menor consumo de energía. En ambos aspectos, la influencia del mondado de la raíz es considerable. (Flaws, 1988).

OCUADRO 3.- EFECTO RALLADOR Y ENERGÍA NECESARIA PARA RAÍCES DE DIVERSAS VARIEDADES.

Variedad	Efecto Rallador sin mondar	Mondada	Energía para sin mondar	el Rallador mondada
Mangi	62.7	80.4	67.6	6.62
Basicrao	67.2	79.4	7.15	6.31
Tapicuru	66.3	67.5	5.3	---
Sao Pedr	67.4	68.7	5.21	3.44
Bogof	62.1	60.5	4.47	4.05

Los valores están dados en Kw-h/Ton, de fécula libre producida.

Tamizado.

Para separar la pulpa de la fécula libre, es preciso añadir agua en abundancia a la pasta que se obtiene en el rallador, y remover vigorosamente la lechada resultante antes de proceder a tamizarla. La mezcla de agua puede hacerse más o menos independientemente del tamizado pero lo común es que las dos operaciones se combinen en un tamiz que esté en movimiento continuo. (Knight, 1991).

Tamizado a mano.

En los molinos más pequeños el tamizado se hace a mano. Para ello, se pone una cantidad de masa rallada en una tela sujeta a cuatros estacas y que cuelga como un saco encima de un canal de desagüe que conduce directamente a las piletas de sedimentación. Por una tubería instalada encima del saco se hace llegar a éste agua de manantial o de río purificada y se agita la pulpa enérgicamente con ambas manos. A

veces se usa un cesto de bambú para sujetar la tela durante el lavado. La pulpa restante contiene todavía apreciables cantidades de almidón y posee, por lo tanto, cierto valor por ejemplo, como forraje para el ganado; en las instalaciones pequeñas, la pulpa se comprime a mano. La masa resultante se pone a secar en estantes en un lugar ventilado (Knight, 1991)

Tamiz giratorio.

En su forma más sencilla, se compone éste de un tambor cónico de madera dura que se fija a un eje hueco horizontal de 3m., de longitud por lo menos, y que se cubre con una tela corriente o con una gasa de bronce fosforado por ser más duradero, pero tiene el inconveniente de que hay que cepillarlo frecuentemente para quitar las partículas de pulpa que obstruyen la malla.

Se introduce la pulpa cruda en el cono por el extremo más angosto. Y por efecto de la rotación de tamiz, que gira a unas 50 revoluciones por minuto, desciende lentamente al otro extremo, de donde pasa a los depósitos de pulpa. Durante el trayecto, se rocía con agua a presión por ejemplo; a 6 atmósferas, que se hace llegar desde varios orificios que lleva el eje hueco. De esta forma, cuando la pulpa llega al extremo inferior del cono, está completamente lavada. El tamiz giratorio tiene la ventaja de que evita el atascamiento de las mallas de tamiz con materiales gomosos que tienden a aglutinarse con la fibra, a medida que gira el tamiz. La lechada de harina se recoge en un recipiente de cemento situado por debajo del tamiz a todo, lo largo de éste, y de ahí pasa por canales a las piletas o a las mesas de sedimentación.

Para facilitar el flujo de la pulpa cruda, se monta el tamiz lo más próximo posible al rallador y a un nivel algo más bajo que este. La pulpa lavada que sale por el extremo inferior del tamizador se lleva, mediante transportadores, a depósito situado fuera de la fábrica. Como casi toda su materia seca está constituida por almidón, este subproducto se vende, después de sacarlo y pulverizarlo, como un forraje.

Un modelo de tamizador giratorio más completo va equipado con dos juegos de cepillo, uno dispuesto de manera que lleva la fibra hasta el punto de descarga y el otro actúa como batidora, a la vez que limpia el tamiz para que salgan fácilmente la lechada de almidón. Ambos juegos de cepillo son regulables, de modo que pueda reducirse el excesivo desgaste de las cerdas y obtener la máxima duración. La tela de los tamices se monta en bastidores de aluminio, que pueden retirarse para cambiar la tela metálica. Hasta ahora, las fábricas de capacidad media usan generalmente un solo tamiz giratorio; en las fábricas mayores, se precisa, por razones económicas, extraer el máximo contenido posible de almidón de toda la raíz con la mínima cantidad de agua. Esto exige con frecuencia una disposición más complicada de las operaciones de rallado y tamizado, a la vez del empleo de aparatos tamizadores más eficaces. (Knight, 1991).

El tamiz sacudidor.

En las grandes fábricas se emplean tamices en movimiento sacudidor en vez de giratorio. Consiste en un armazón horizontal, ligeramente inclinado, de 4 m, de longitud y cubierto de gasa, accionado por medio de una biela excéntrica que le da un movimiento rectilíneo alternativo de pequeña carrera. Después de mezclarla con agua

en las piletas de distribución, la pulpa fresca se conduce por tubos al extremo superior del tamiz: durante el cernido, la pulpa depositada en la parte alta es obligada a descender lentamente a lo largo del tamiz por virtud del movimiento sacudidor.

Conviene que la materia en suspensión pase por una serie de tamices sacudidores en los que la figura de la malla vaya aumentando, (80, 150, 260 mallas.), para que el primero retenga la pulpa más gruesa y los otros las partículas más finas. La pulpa que queda en la primera de estas cribas se somete algunas veces en un segundo rallado o triturado, y se hace pasar de nuevo por el tamiz.

Otro medio de incrementar la eficacia consiste en realizar en dos fases la operación combinada del tamizado y lavado de la pulpa. En las primeras de ellas, se mezcla la pulpa con agua se agita vigorosamente en una lavadora que lleva en su fondo cribas de mallas grandes y paletas para conseguir una mezcla completa para el movimiento de la pulpa hacia el extremo del recipiente. En la segunda fase, la lechada de harina de estas lavadoras pasa un tamiz sacudidor colocado debajo, que retiene el resto de la pulpa fina. La operación se repite dos veces con la pulpa obtenida, haciéndola pasar por otros equipos análogos de lavadora y tamiz, que pueden instalarse en batería.

La separación completa de la fécula libre y de la pulpa se realiza aquí por el procedimiento de corrido inverso: en la tercera lavadora (la inferior), la pulpa procedente de un primer rallado sufre un lavado con la lechada procedente de la segunda lavadora-tamizador colocada encima. La pulpa de este primer tratamiento pasa una ralladora

secundaria, desde donde se eleva a la lavadora, y allí vuelve a ser lavada con la lechada de la lavadora – tamizador superior. Finalmente la bomba eleva la pulpa a la lavadora superior, a la que hace llegar agua limpia. (Knight, 1991).

Se logra un eficaz aclarado de la pulpa de los tamices disponiendo uno o más canales transversales poco profundos, intercalados a lo largo de la superficie tamizadora, donde, como consecuencia del intenso movimiento de volteo que imprime a la suspensión el movimiento del tamiz, se logra que se desprendan eficazmente de la pulpa los gránulos de fécula. (Knight, 1991).

Los extractores de chorro.

Un equipo eficaz de la separación de almidón de la fibra celulósica es el extractor de chorro, o la centrífuga de cesta perforada continua. La papilla de pulpa de almidón se introduce en una cesta cónica y la acción centrífuga separa la dispersión de almidón de la pulpa fibrosa. Chorros de agua pulverizados sobre la pulpa, a medida que circula a lo largo del cono, aseguran la recuperación completa del almidón.

El tamiz DSM Dorr-Oliver.

Otro equipo moderno empleado en la industria del almidón para la separación completa y lavado de fibra es el tamiz inclinado DSM Dorr – Oliver, que consta de un armazón de tamiz fijo provisto de un tamiz de tipo de barra en cuña cóncavo. La suspensión que se requiere tamizar se carga tangencialmente, bien por gravedad o bajo presión de la placa tamizadora y fluye en una dirección perpendicular a las barras. Cada barra de la superficie del tamiz corta una capa de líquido de un espesor de

aproximadamente $\frac{1}{4}$ del ancho de ranura. En la industria del almidón se emplean diferentes tipos de tamices, con un ancho que va desde 50 micras hasta 3 mm.

Después del rallado, la papilla de pulpa de almidón desciende por el tamiz DSM por la acción de la gravedad y se separa de la pulpa y el almidón. Se hacen funcionar en serie hasta 4 tamices con el fin de asegurar que la dispersión del almidón se separe completamente de la pulpa. La pulpa procedente de un tamiz se descarga en una cubeta, se dispersa de nuevo con agua de dilución y se bombea al siguiente tamiz.

Sedimentación y purificación del almidón

En el sentido en que aquí se emplea, el término "sedimentación" incluye todas las operaciones que tienen como objeto separar la fécula pura de las materias solubles que la acompañan. La calidad de la harina producida depende en gran medida de la correcta ejecución de estas operaciones, que comprenden la sedimentación repetida en tanques o piletas, la ejecución de esa operación en mesas de sedimentación y la acción de los separadores modernos. Cada uno de estos métodos puede practicarse por separado o en diversas combinaciones, y todos dan por resultado una suspensión más o menos concentrada de fécula en agua pura. (Sills, 1988/ Knight, 1991).

Duración del proceso de sedimentación y calidad del producto.

Se ha dicho ya que todo el proceso de elaboración de la yuca tiene que ser ejecutado en el menor tiempo posible. Esta condición se aplica especialmente a la separación de la fécula libre de la suspensión, puesto que en esta solución se manifiestan rápidamente procesos de naturaleza química como; formación de

complejos muy estables constituidos por féculas proteínas, materias grasas, etc, y resulta casi imposible separar la fécula pura contenida en estas combinaciones, lo cual reduce considerablemente el valor de la harina para muchas aplicaciones.

En una fase ulterior, la parte acuosa de la suspensión, por ser bastante rica en azúcares y otros elementos nutritivos, favorece la multiplicación de microorganismos que dan por resultado finalmente, una intensa fermentación. Se producen alcoholes y ácidos orgánicos, entre los que se hace especialmente perceptible el ácido butírico, a causa de su olor. Estas alteraciones bioquímicas ejercen una influencia negativa en la calidad de la harina, similar a las de los anteriores cambios físico químicos. Es poco menos que imposible impedir la formación de dicho ácido en el procesamiento de la yuca, y se encuentran vestigios de él aún en las mejores calidades de harina. Con frecuencia es posible localizar los pequeños molinos rurales por el olor a ácido butírico.

Como consecuencia de la necesidad de proceder con rapidez, la técnica de la sedimentación se ha perfeccionado racionalmente desde la simple pileta a la mesa de sedimentación, reduciendo considerablemente el tiempo en que están en contacto la fécula y la parte acuosa de la suspensión. Finalmente, con los métodos modernos de procesamiento se ha reducido dicho tiempo de tal manera que se ha reducido a una hora aproximadamente.

Antes de pasar el examen de los diferentes métodos de sedimentación conviene mencionar varios aspectos fundamentales de la misma.

La sedimentación y el tamaño de los gránulos

Una partícula esférica, suspendida en un medio líquido, adquiere rápidamente, bajo la acción de la gravedad o de una fuerza centrífuga, un movimiento de velocidad constante, que es proporcional a la diferencia de su densidad con relación a la del medio y al cuadrado de su diámetro, e inversamente proporcional a la viscosidad del medio (ley de Stokes).

En la lechada de fécula de yuca, formada por gránulos esféricos de una densidad aproximada de 1.5 en un medio cuya viscosidad no difiere grandemente de la del agua, la rapidez de la sedimentación dependerá principalmente del diámetro de los gránulos y, en algunos equipos modernos, de las fuerzas centrífugas que se emplean para ello. (Hubert & Dupré, 1984).

Pero, además de esto, existen otros factores, tales como el pH del medio, su contenido de proteínas y otras materias que, mediante los cambios en el estado coloidal, ejercen cierta influencia en el ritmo de la sedimentación y, sobre todo, en la consistencia de la harina sedimentada.

El diámetro de los gránulos de la fécula de yuca varía entre 4 y 24 micrones, y, por ello, es lógico que se observe una graduación de acuerdo con el tamaño de los gránulos en las capas de sedimento que se depositan sucesivamente. Esta graduación será tanto más definida cuando mayor sea el camino recorrido por los sedimentos desde la mezcla en suspensión inicial. Por tanto, durante la sedimentación en piletas, las capas inferiores contendrán gránulos de una variedad de tamaños, depositados en el fondo durante los primeros momentos del llenado de las piletas con la lechada de

fécula. La gradación mencionada sólo se podrá observar si las piletas están completamente llenas. La distribución por tamaños observada experimentalmente en un sedimento de 30 cm, de espesor, logrado después de asentado durante 24 horas, confirma estas suspensiones, como se ve en el cuadro 4. (Hubert & Dupré, 1984).

CUADRO 4. DISTRIBUCIÓN DE LOS GRÁNULOS POR TAMAÑOS EN SEDIMENTO DE FÉCULA DE YUCA.

Capas de Sedimento	Diámetro Más frecuente	Diámetro Medio	Desviación estándar
Capa inferior del fondo	14	14.5	3.7
A 1/3 de la altura	16	14.5	3.9
En el centro	12	11.7	3.1
A 2/3 de la altura	12	10.9	2.8
A 0.3 cm de la superficie	8	9.6	2.4
Capa superior (harina ligera).	6	9.4	3.9

Los valores están dados en micrones. 1 micrón = 0.001mm.

Se observará que la gradación respecto al tamaño de las partículas comienza por encima del tercio de la altura del sedimento. La variación típica en la capa superior es relativamente grande; se deduce que esta capa contiene muchos gránulos de todos los tamaños que, al microscopio presentan un aspecto corroído. Además, están mezclados con una cierta proporción de restos celulósicos finos, proteínas precipitadas y otras materias orgánicas.

Cuando la sedimentación se efectúa en mesas, puede esperarse una gradación correspondiente que, en este caso, depende de la distancia desde el extremo superior de aquellas. Sin embargo los separadores centrífugos producen una mezcla uniforme de gránulos de todos los tamaños que se encuentra en el material inicial.

Sedimentación en piletas.

Este es el método antiguo y, desde luego constituye el sistema más común para la producción en pequeña escala, en los pequeños molinos rurales. Las dimensiones de las piletas y el número se deciden de acuerdo con el volumen de producción, pueden tener por ejemplo, 2 x 4 m. de diámetro y de 0.5 a 1 m. de profundidad.

Es esencial que la harina no esté en contacto con los cementos o la mampostería durante más tiempo del absolutamente preciso (horas), puesto que ello tiene un efecto adverso en la calidad de la harina. Por tal razón, el fondo de los depósitos se recubre de una clase de madera que resista la acción prolongada de la papilla y no produzca reacciones en la harina.

La sedimentación dura por lo menos seis horas, por lo cual cuando el rallado se ha efectuado a las primeras horas de la mañana, se puede decantar por la tarde el líquido que queda sobrenadando. Sin embargo, como es frecuente realizar el rallado hacia el final de la mañana, en ese caso se deja que la harina se sedimente durante toda la noche, lo que representa un total de 20 horas o más. Aunque la sedimentación es más completa en este caso, también, puede haber progresado la acción de las enzimas y microorganismos.

Los canalizos o mecas de sedimentación.

Debido al mucho espacio que ocupan las mesas o canalizos, solo se puede emplear en la fábricas medianas y grandes.

La mesa consiste en un canal poco profundo de unos 50 m. de longitud y 30 cm. de profundidad y de ancho variable según la producción diaria de fécula. El fondo está revestido de madera o baldosa, es horizontal, aunque en ocasiones se le dá una pequeña inclinación de 1 cm por m.

La lechada de harina entra por un extremo de la mesa, a ser posible desde un compartimento que forma parte de la misma, el cual tiene aproximadamente 0.5 m. de longitud y que esta separado de ella por un pequeño muro de unos 20 cm. de altura, con lo que se consigue que la lechada caiga desbordándose uniformemente por toda la anchura de la mesa. El líquido excedente que se hace salir por el extremo de la mesa debe estar libre de fécula y es así desechado.

La masa de sedimentación funciona con mejores resultados si se llena hasta su capacidad máxima, por lo que algunas fábricas, que manejan volúmenes grandes de producción de fécula (14 ton. ó más diarias), disponen de mesas de hasta 4 m. de ancho.

Las ventajas de las mesas de sedimentación sobre las piletas son, en resumen las siguientes:

1. El tiempo de contacto de la harina con la parte líquida de la solución se reduce.
2. La fécula que se deposita en las distintas partes de la mesa está diferenciada con arreglo a la pureza, y tamaño de los gránulos, lo que permite al fabricante producir simultáneamente y sin gasto adicional por lo menos 2 clases de harina de diferente calidad.
3. Las pérdidas de fécula fina son mucho más bajas, porque el recorrido que las partículas tienen que hacer para sedimentarse es muchos menos y porque el desague de líquido residual se efectúa a un ritmo muy lento.

Métodos de sedimentación.

Ya vimos 2 métodos de sedimentación empleados en algunas fábricas rurales de harina de yuca: por piletas y por canalizos ó mesas de sedimentación. Ambos métodos tienen la desventaja de que no separan las partículas extrañas más pesadas que la fécula como: arena, arcilla. La concentración de la lechada de harina en todo el proceso de sedimentación está sujeta a límites definidos. Especialmente durante la operación en las mesas, la suspensión no deberá contener más de 25-30 g, de fécula/L. Si la concentración es mayor, aumenta desventajosamente el tiempo requerido para la sedimentación. Cuando se trata de sedimentación por acarreo pueden emplearse concentraciones mayores, hasta de 250 g/L.

La mejor manera de verificar el grado de concentración consiste en medir la densidad de la papilla sirviéndose de Brixómetros. Generalmente se expresa en grados Brix, medida que se emplea en la industria azucarera (gramos de sacarosa/L. a 17° C).

Además, se ha comprobado que influye en la sedimentación el pH ambiental. Una reacción ácida facilita la rapidez de la sedimentación y la formación de un sedimento compacto; una reacción alcalina tiene el efecto contrario.

Como en muchas fábricas se añaden productos químicos con diversos fines antes de la sedimentación, parece interesante analizar con detalle el efecto que las sustancias empleadas con más frecuencia tiene en la consistencia del sedimento y en las propiedades del producto.

Conviene, sin embargo, poner de manifiesto que de poco sirve aplicar estos reactivos químicos si no se cumplen las condiciones fundamentales para una producción de harina de alta calidad y, en particular si no se atiende principalmente a que la producción se ajuste al uso de buenas prácticas de manufactura. (Holleman, 1992).

Influencia de los productos químicos en la sedimentación y en las propiedades del producto

Puede afirmarse, por tanto, que para conseguir una buena separación de la fécula de la masa líquida, no solamente tiene importancia el ritmo de sedimentación, si

no también el que el sedimento tenga la consistencia debida. Las pérdidas de fécula registradas al retirar el líquido excedente de las piletas de sedimentación serán tanto menores cuanto más sólida sea la masa formada por la fécula, e incluso también el rendimiento de la operación practicada en las mesas depende en parte de que el sedimento sea compacto.

Al depositarse con el agua limpia, la fécula pura forma una masa compacta de propiedades mecánicas características. Si se rompe dicha masa en forma brusca, con una pala por ejemplo, aquélla se fragmenta como una sustancia quebradiza, pero tan pronto como cesan las fuerzas causantes de la deformación, pierde la forma y se esparce como si fuera un jarabe espeso que se derritiera en la paletada. Se explica el fenómeno, denominado "dilatancia", admitiendo que los gránulos del sedimento, cuando están en reposo, se amontonan unos sobre otros, de forma que quede el menor espacio entre ellos, mientras que, al perturbarse esta disposición por una fuerza exterior, aumenta el volumen intersticial, efecto que va acompañado del correspondiente "secado" de la masa. Está misma causa puede ser el origen de la propiedad de "crujir" que tiene la harina seca.

Cloro. El empleo del cloro activo en diversas formas, por ejemplo en estado puro, como cloruro de cal, ó como hipoclorito comercial, hace aumentar notablemente la viscosidad del producto. Siempre que se emplee en concentraciones bajas: 1 ppm ó 1 mg/L, de lechada. Favorece la sedimentación, desinfecta y blanquea, el sedimento que se obtiene es blanco y compacto. Cuando las concentraciones empleadas son mayores de unos 50 mg/L, determinan un sedimento blando y de color anormal y un

producto de muy poca viscosidad. Estas propiedades de los preparados de cloro activo los convierten en los mejores coadyuvantes para obtener un producto final de calidad.

(Radley, 1993)

Acido sulfúrico.

Este ácido, que se emplea para acelerar la sedimentación, da por resultado en muchas ocasiones un producto de la mayor blancura. Se observa su efecto en la sedimentación cuando se emplea en concentraciones superiores a 0.001 ml. del ácido concentrado (p.e. 184) por litro de lechada a 2°Brix (los grados Brix equivalen aproximadamente a los gramos de harina por litro). Si se añade una cantidad 10 veces mayor, la sedimentación es rapidísima, pero el sedimento obtenido es muy blando. Incluso en concentraciones muy pequeñas, se observa que el ácido tiene un efecto reductor de la viscosidad del producto. Hasta 0.001 ml. aproximadamente, por litro de lechada, hay un pequeño aumento de viscosidad, pero si la concentración es más elevada, aquélla disminuye intensamente.

Se ha de tener mucho cuidado en el manejo del ácido y en su empleo; solamente debe usarse en forma diluida, preparada de antemano y que se eliminará después mediante una o más sedimentaciones en agua pura.

Alumbre (sulfato de aluminio). La adición de 0.1 g/L, de lechada a 2° Brix favorece la sedimentación y mejora también la viscosidad de la harina, en un aumento 50% aproximadamente.

Dióxido de azufre (anhídrido sulfuroso). Se emplea normalmente en la manufactura de casi todas las harinas de cereales, entre ellas la de maíz. Probablemente, favorece la separación de la fécula de las sustancias a la que está firmemente ligada en su estado protoplásmico. Por añadidura, limita también la acción bacteriana y enzimática. El anhídrido sulfuroso actúa como reductor de la viscosidad del producto particularmente después de una acción prolongada, pero no produce ningún efecto, perjudicial si se aplica a una sola sedimentación en la concentración acostumbrada de 0.3 a 0.4 g/L, seguida de otra sedimentación en agua pura. (Radley, 1993).

Laminadores.

En la construcción de los llamados laminadores, se trata también de reducir la distancia que han de recorrer los gránulos de fécula antes de sedimentarse, como se consigue mediante el uso de las mesas de sedimentación. En la parte superior de unos depósitos cónicos, se fijan radialmente unas placas oblicuas de metal y, en la parte inferior, se instalan un agitador y una válvula de paso. La lechada entra por la parte superior central de donde fluye radialmente y con lentitud por los espacios entre las láminas y el borde exterior del cono.

El trayecto de sedimentación libre de los gránulos de fécula está limitado en este caso por la distancia vertical entre dos placas adyacentes, que es tan solo de unos pocos centímetros, después de lo cual descienden más rápidamente por la superficie de las placas hasta llegar a la parte inferior del cono. De esta forma, las partículas mayores caen hacia el centro del aparato y se recogen directamente en el fondo del cono,

mientras que las más finas se depositan en la periferia y se reúnen en la pared cónica. Como los granulos pequeños tardan menos que los grandes en deslizarse por una superficie inclinada, se reduce el amontonamiento de ellos a las paredes. La distribución radial impide que la harina se acumule en los espacios existentes entre las láminas, ya que cada uno de estos espacios se ensancha en la dirección del movimiento del líquido en suspensión.

Métodos centrifugos.

Mediante la centrifugación, se consiguen una rápida separación de los granulos de fécula de la lechada y la eliminación de las impurezas en suspensión coloidal, con el consiguiente mejoramiento de la calidad del producto terminado. Sin embargo la centrifugación por sí sola no puede sustituir por completo a la sedimentación por la acción de la gravedad; después la centrifugación, hay que separar todavía de la fécula las impurezas sólidas que queden, mediante la sedimentación en piletas o mesas.

Uno de los separadores centrifugos que más se emplean en la actualidad consiste fundamentalmente en un cilindro o tambor horizontal sin perforar con un raspador en espiral para retirar la fécula. El tambor gira en un marco provisto de cojinetes en ambos lados.

La capacidad del separador depende, ante todo, del tamaño de los granulos de fécula y, como es lógico su producción será inferior para las féculas de grano fino. Es realmente inevitable que se pierda algo de fécula con la solución acuosa eliminada, ya

que los gránulos muy pequeños escapan a la sedimentación en cualquier procedimiento práctico.

Se completa la acción de los separadores (concentradores) mediante rápida sedimentación por carga en las centrifugadoras de tambor o purificadoras, en las que la fécula más pura es la primera en depositarse en las paredes del tambor, formando una espesa capa, sobre la que se superponen otras capas de fécula mezclada con fibras finas (fécula gris), ocupando el líquido residual la parte más interior. La fécula gris se retira mediante lavado con agua potable. La fécula purificada se agita entonces con agua fresca y se retira para proceder a su secado, o se somete a una segunda centrifugación.

Los purificadores más modernos, tienen la ventaja de que las citadas operaciones pueden llevarse a cabo mientras el tambor está en marcha.

La dispersión del almidón se lava con grandes cantidades de agua en una serie de cubetas de madera, tanques de sedimentación o piletas, según se ha descrito anteriormente, o en refinadores. El almidón crudo se traslada a mano o en cestas desde los tanques de sedimentación a las cubetas o piletas de lavado, agitando enérgicamente el almidón con agua limpia y dejando luego que se sedimente durante 6 a 12 horas. Esta operación se repite varias veces hasta que el almidón está completamente purificado. Durante la sedimentación, el sedimento de almidón se cubre algunas veces con una tela para absorber el exceso de humedad. Sin embargo, en las fábricas modernas se emplean dos tipos de equipos perfeccionados para la purificación del almidón.

1. el separador "Marco Centrifugal", que se basa en el principio de la bien conocida separación de crema. El separador opera mediante un principio de flujo de retorno integral, que asegura la producción continua de sólidos uniformes por reciclado de una parte de flujo bajo que retorna al rotor. Esto crea una acción de inundación y permite el empleo de un tamaño de tobera de rotor suficientemente ancha para evitar el atasco.
2. El separador "Starcosa Channel", que abarca el flujo no turbulento de dispersión de almidón sobre placas divisorias para separar las fibras más pesadas de la dispersión de almidón, en fase acuosa. (Nijuni, 1992).

Secado preliminar por centrifugación.

La deshidratación mecánica se realiza generalmente en centrifugadoras, aunque también se emplean filtros de vacío continuo, en especial combinados con secadores modernos de túnel.

La alimentación del depósito se hace de cargas de féculas en forma de papilla a 23° Be, durante la centrifugación, el agua se elimina a través de filtro y la fécula se deposita en las partes del tambor formando una torta cilíndrica. La fécula de yuca, como otros almidones de grano fino, tiene propiedades que le permiten formar en el tambor un sedimento muy adherente, difícil de quitar a mano aún por medios mecánicos. Por tal razón, las centrifugadoras más prácticas van equipadas con un colector de sedimento desmontable, que permite retirar toda la masa de fécula depositada después de la centrifugación. Facilitan las descargas unas aletas divisorias verticales que lleva la placa inferior del colector.

En general, el secado centrifugo, que reduce el contenido de humedad al 40% aproximadamente, se practica en unión de alguna otra forma de desecación continua por evaporación. Aunque en el comercio hay muchas variedades de estos secadores, sólo se describen aquí algunos que son especialmente apropiados para desecar la fécula. (Nijuni, 1922).

Secado.

La separación de agua libre de sedimento de fécula que se obtiene en las piletas o mesa de sedimentación se puede realizar parcialmente por medios mecánicos, como, por ejemplo, por centrifugación. Sin embargo, la desecación definitiva tiene que efectuarse siempre por evaporación, bien al aire libre, (secado al sol) o en hornos. En las fábricas modernas se combina el secado en hornos y el secado mecánico, realizándose la operación completa, como todas las demás fases de la fabricación, en forma tal que se requiera el menor tiempo posible.

Secado al sol.

El sol es la fuente más económica de calor y se ha aprovechado en todas las fábricas pequeñas y muchas medianas. La mesa de harina que queda en la pileta después de decantar el agua, se saca con palas y después de desmenuzarla, se extiende en unos discos o charolas de tejido de cestería para permitir una buena recirculación de aire. Estos discos tienen un diámetro de 1 m. y en cada uno de éstos se extiende la cantidad de producto húmedo que corresponda aproximadamente a un contenido de 0.5 Kg. de fécula seca. Los discos deben colocarse sobre bastidores por

razones higiénicas y para una mejor ventilación y deshidratación. Este método requiere de mucho cuidado y mano de obra para acelerar el secado. Se considera que se ha completado el secado cuando los terrones que quedan son tan duros que no se pueden deshacer con la mano. En ese punto el contenido de humedad es del 15 al 20%.

Una ventaja importante de este método es la acción blanqueadora de los rayos ultravioletas. Sin embargo, al mismo tiempo se inician algunas, reacciones químicas desfavorables que acaban ejerciendo una influencia negativa en la calidad del producto. Además, durante el secado al sol, no puede evitarse por completo la contaminación con el polvo, particularmente en días de viento, con el resultado que disminuye la blancura del producto y éste presenta "manchas". Por último es preciso limpiar los discos y charolas periódicamente con una solución sanitizante para evitar la contaminación por microorganismos. Si se dispone de espacio suficiente y del número necesario de discos y charolas (alrededor de 5000), con el secado al sol se puede lograr una producción de más de 2 toneladas diarias de harina seca. En algunos sitios se emplean hornos secadores, mientras que los secadores de cámara y de tambor sólo se instalan de las fábricas que tiene una producción diaria mayor.

Secado en hornos.

El tipo de horno más sencillo está constituido por una cámara de combustión de ladrillo, recubierta con planchas de hierro galvanizado o de cobre, sobre las que se coloca la harina húmeda en capa delgada. El fuego debe ser moderado para evitar una gelatinización de la fécula para que pueda removerse la harina. En Malasia y Lejano Oriente, se emplean hornos llamados patios, "patios de secado", de unos 30-40 m de

largo y 3-5 m de ancho para el secado del almidón de yuca. Se quema suficiente madera en el túnel hasta que calienta la superficie cementada a la temperatura requerida, el número de patios de secado en una fábrica oscila entre 2 y 5, según el tamaño y las clases de productos.

Secador de cámara.

Este tipo de secador trabaja a base de recirculación de aire caliente seco. En un secadero modelo, la corriente de aire producida por el ventilador se caldea por medio del dispositivo de calentamiento y pasa por el material que se va a secar, cediendo su calor a la vez que absorbe el vapor de agua de la harina húmeda. Aunque el secado en este aparato requiere relativamente bastante tiempo y trabajo, su manejo es sencillo, y por esa razón se utiliza en fábricas medianas.

Secador de tambor.

Probablemente el tipo más sencillo de instalación para secar harina continuamente es un tambor giratorio horizontal, o inclinado, que se calienta desde el exterior, y por uno de cuyos extremos entra la harina húmeda. Durante el movimiento mecánico del cilindro, el producto cede su humedad a una corriente de aire seco.

Secadores de banda.

Es un modelo eficaz de secado continuo une la sencillez de su construcción a la gran capacidad productora y que no requiere la supervisión de obreros especializados. En este aparato la fécula se transporta en medio de una corriente de aire caliente – seco , a lo largo de una serie de bandas sinfín montadas unas sobre otras. Se alimenta

la fécula húmeda en la banda más alta y sobre ésta recorre toda la longitud de la máquina; al llegar al extremo, cae a la que está debajo, que se mueve en dirección contraria, y así sucesivamente. Al caer de una banda a la otra, la fécula se voltea y ventila. Entre las bandas se instalan calentadores, por ejemplo tubos de vapor, con los que se obtiene una rápida evaporación; el vapor de agua se suprime por la corriente de aire ascendente.

Secadores de túnel.

Estos equipos nos dan un producto con secado uniforme y con un contenido de humedad definido; están divididos en secciones de secado a diferentes temperaturas y con dispositivos extracción de aire húmedo integrados. El producto pasa a través de una banda sinfín. Mediante vacío se extrae la harina de la lechada concentrada, pasándola a un tamiz giratorio de tela provisto de un dispositivo que divide la masa longitudinalmente y la fracciona en tiras. La harina sale por el otro extremo del túnel con un contenido de humedad del 17%, en forma de aglomerado que se desmenuza y cierne. El secador que tiene 2.5 m de ancho y hasta 20 m de longitud, está dividido en 4 secciones y tiene una capacidad de producción de 15 a 20 toneladas de harina seca por día.

Secadores neumáticos.

Otro tipo eficiente de secador es el secador rápido neumático o "flash". La torta del almidón se conduce desde la centrífuga de cesta por medio de un transportador helicoidal a un secador neumático, donde se reduce la proporción de humedad final a 10-13%. El secado se realiza por medio de aire caliente producido por una serie de

quemadores de aceite que trabajan según el principio de combustión y aire comprimido. Las cantidades necesarias de aire fresco se succionan en el generador de aire caliente a través de un filtro de aire y se calientan hasta unos 150° C. Durante el proceso de secado el almidón es transportado neumáticamente desde el fondo hasta la parte superior del secador y luego se desvía hacia abajo. Las partículas de almidón que no están completamente secas se devuelven al dispositivo de secado situado en el fondo, mientras que el almidón seco se separa en el ciclón desde el aire transportado se conduce, a través de un túnel hermético rotatorio a un tamizador de polvo de almidón. (Walker, 1993/ Sills, 1988/ Radley, 1993).

Acabado y empaquetado.

Cernido.

El cernido lo forman dos operaciones que influyen mucho en la calidad del producto terminado. La harina seca de yuca sin elaborar está compuesta en su mayor parte de terrones duros de almidón, y, como en esta forma es inutilizable en la mayoría de sus aplicaciones, tienen que ser sometidos a un proceso de pulverización seguido de un tamizador en seco.

Este proceso normalmente es empleado en las fábricas que manejan volúmenes grandes (24 toneladas de yuca/ por día ó más). (Kuppuswamy, 1992).

Pulverización y cernido por rodillo.

La harina cruda se alimenta a la tolva situada sobre dos rodillos que giran en sentido contrario y a la misma velocidad. Los aglomerados de fécula se desmenuzan por la acción de los rodillos, pero quedan intactas la fibra y otras partículas duras. La

harina triturada pasa después a un tamiz giratorio cónico construido de igual forma que los usados para el tamizado de la lechada. En éste y mediante un tamiz de gasa de 100 a 200 mallas por pulgada, se separan de la fécula los terrones pequeños que han escapado a la trituración, las fibras y otros cuerpos extraños; la pulpa seca descargada se vuelve a echar a la tolva. Los rodillos y el tamiz giratorio están acoplados al mismo motor, que en caso necesario puede sustituirse por una manivela accionada a mano.

El pulverizado por rodillos es un procedimiento relativamente lento, por lo que ha sido sustituido con máquinas desintegradoras. Sin embargo, últimamente se han combinado las ventajas del procedimiento de los rodillos, que consisten especialmente en su acción trituradora relativamente suave, con una mayor rapidez de funcionamiento empleando nuevas máquinas que llevan un sistema de rodillo acanalados o estríados.

Pulverización y cernido por desintegración.

En la actualidad, casi todas las fábricas grandes cuentan para este proceso con batidores desintegradores. Mediante la acción desintegradora, los terrones de fécula así como la fibra y otras materias extrañas, quedan pulverizados y se les obliga a pasar por placas tamizadores de 100 mallas por pulgada o aún más finas, según se desee. De no ser muy puro el material con que se ha iniciado la operación, la harina resultante puede contener cantidades apreciables de materiales no feculentos, que son de difícil operación. Estos desintegradores necesitan entre 10 y 20 HP de fuerza motriz, según la cantidad de harina que se maneje por hora; su velocidad de trabajo es de unas 1200 r.p.m.

La disposición del equipo es análoga a la de los cernidores de rodillos. Como durante la operación sale despedida gran cantidad de fécula, el desintegrador y el tamiz van encerrados en cámaras de madera o metálicas. Provistas de ventanillas para la salida de harina cernida, las cuales pueden cerrarse con escotillas o cubrirse con una tela gruesa cuando está funcionando el aparato.

Almacenamiento y envasado.

El almidón elaborado debe almacenarse en un lugar fresco y seco, preferiblemente con un suelo de madera o en artesas, y en donde pueda mezclarse para obtener una partida uniforme. Antes del almacenamiento, el almidón se tamiza para obtener partículas uniformes exentas de grumos. El envasado se hace normalmente en sacos de nylon ó de papel multicapa.

Extracción de almidón de las raíces de yuca.

En Europa se importa una cantidad limitada de raíces secas de yuca en forma desmenuzada y desecadas y se transforma en almidón o fécula. Las raíces secas se limpian y lavan, se rallan y el almidón se separa empleando tamices cilíndricos. Sin embargo, esta práctica es costosa y el almidón obtenido por este método es de calidad baja a causa de:

- a) la piel parda, que contiene clorofila y sustancias proteínicas coaguladas, se adhiere muy fuertemente a los tejidos leñosos. Mientras que sea fácil separar esta piel de las raíces frescas, resulta muy difícil esta separación de las raíces secas y, por consiguiente, el almidón de las raíces secas tiene siempre un color oscuro.

- b) Las materias nitrogenadas se encuentran en estado coloidal envolviendo a los gránulos de almidón en la papilla de pulpa de las raíces frescas. Es más fácil separar estas partículas nitrogenadas en la papilla de pulpa de raíces frescas que en raíces secas. (Sills, 1988).

CAPÍTULO IV

PRODUCTOS DE TAPIOCA ELABORADOS AL HORNO

Con el nombre de tapiocas se conocen todos los productos elaborados al horno, cuya materia prima básica es la harina de yuca. En Malasia se le conoce generalmente con el nombre de productos de sagú. Muchas fábricas de tamaño medio y grande tienen instalaciones adicionales para la fabricación de productos al horno, tales como: copos, semillas, perlas y sémolas.

Estos productos están constituidos por trozos de almidón de yuca parcialmente gelatinizados, obtenidos por tratamiento térmico aplicado a la harina húmeda en pileta, los gránulos húmedos se gelatinizan cuando se calientan, revientan y se pegan entre sí. La masa se agita para evitar el chamuscado. Se fabrican en forma de trozos irregulares denominados escamas ó en perla de un diámetro de 1-6 mm, conocidos con el nombre de semillas y perlas.

El término sémola se emplea para un producto de grano más fino obtenido por molienda de trozos gelatinizados, mientras que los tamizados y el polvo son productos residuales de la fabricación de semillas y perlas. (Wistler & Pashall, 1991).

Preparación de la harina húmeda.

El material básico de los productos procesados al horno es la harina cruda tal y como se recoge de las piletas de sedimentación, después de haberlas liberado del líquido sobrenadante y de suprimir la harina "amarilla". Desde el punto de vista de la economía, es evidente que, para el fin de que se trata, resulta ventajoso el empleo de la

fécula húmeda, que representa una fase intermedia en el proceso de elaboración de la harina.

En la manufactura, solo se puede emplear harina muy blanca de primera calidad y, para obtenerla se añade a menudo ácido sulfúrico en la primera sedimentación. Sin embargo, será preciso eliminar éste, tan completamente como sea posible mediante una segunda sedimentación en agua limpia; cualquier vestigio del ácido que quede en la harina puede afectar la calidad del producto final. Se recomienda que no se empleen para tal objeto preparados de cloro activo, porque tienen un efecto desfavorable en la aglomeración de la fécula para la preparación de perlas o productos semejantes.

La masa de harina húmeda que contiene un 45% de agua, aproximadamente, se fragmenta con palas o haciéndola pasar a través de bastidores que llevan fijos unos alambres de acero espaciados entre sí de 10 a 20 cm, después de lo cual los terrones se frotan en una criba de unas 20 mallas por pulgada, con lo que se obtiene una harina húmeda de granos bastante irregulares. (Soenarto, 1988)

En este método, la harina está lista solamente para ser gelatinizada y para la obtención de copos; para preparar perlas y semillas, los pequeños conglomerados de fécula húmeda tienen que ser sometidos a un proceso de formación y consolidación que les da el tamaño y fuerza cohesiva necesarios para el tratamiento ulterior. Esta operación se conoce como método gangsor, nombre que se le da en Indonesia. En un saco largo, cilíndrico, de tela de sarga, que sujeta un hombre por cada extremo, se introduce una parte de la harina húmeda. Mediante vigorosas sacudidas rítmicas,

aquellos lanzan la masa de terrones de fécula de un extremo del saco al otro. Al cabo de unos minutos de este tratamiento, los terrones irregulares se convierten en bolitas de diversos tamaños y adquieren consistencia. Se añade otra cantidad de harina húmeda y se repite la operación, hasta que las bolitas han adquirido el tamaño deseado. Si los operarios son hábiles, el tamaño de las bolitas resulta bastante uniforme. Es interesante observar que la destreza en la ejecución de esta operación solamente la poseen pocos obreros, por lo cual esta labor debe considerarse como un trabajo especializado.

A continuación del gangroring, se separan las bolitas del tamaño adecuado mediante su tamizado en cribas provistas de agujeros circulares correspondientes a las dimensiones requeridas. (Halweijn, 1982).

Gelatinización.

En la gelatinización la distribución molecular de la fécula experimenta una alteración radical, con el consiguiente cambio de sus propiedades. De producto casi insoluble de estructura semicristalina, se convierte en una sustancia amorfa, que puede mezclarse con agua en cualquier proporción a temperaturas más bajas, y se convierten en una masa semisólida y elástica, de consistencia gelatinosa.

Este proceso puede lograrse con el empleo de productos químicos o por el calentamiento en su medio acuoso; solamente el último caso nos interesa. El comienzo de la gelatinización se caracteriza porque los gránulos pierden su estructura, lo cual determina también hinchamiento; ambas acciones pueden observarse fácilmente con el microscopio. En la fécula de yuca, el proceso de gelatinización comienza a una

temperatura de 60° C, aproximadamente, y termina por debajo de los 80° C, el punto de gelatinización depende, en cierto grado, del tamaño de los gránulos, siendo los más pequeños los más resistentes al hinchamiento.

En la manufactura de productos al horno, la operación se mantiene a temperatura moderada para que sólo se gelatinice la capa superficial de los terrones de fécula húmeda. De esta manera se obtiene un producto que consiste en aglomerados de fécula casi cruda, cubiertos por una delgada capa gelatinizada, dura y consistente.

En el caso de los copos, la gelatinización se efectúa en pailas de unos 60 a 90 cm, de diámetro y 20-25 cm, de profundidad en forma de segmentos esféricos, y se colocan en las aberturas de un horno de ladrillos que se calienta a fuego moderado. Para impedir que se queme la fécula y quizá también para contribuir a la obtención de un producto del brillo deseado, los recipientes se frota primero con una toalla empapada en un aceite o grasa comestible. Para tal objeto es recomendable usar grasas vegetales con propiedades parecidas a las de manteca de cacao aunque también se usa, el aceite de maní o cacahuate.

Además es necesario remover la masa continuamente con unas largas horquillas para impedir que se queme y conseguir una gelatinización uniforme. De vez en cuando, se saca una muestra de los copos para comprobar su dureza, dándose por terminado el proceso cuando han alcanzado la consistencia adecuada.

El proceso de tostado a mano puede aplicarse también en la manufactura de perlas y semillas, pero se obtienen bolitas bastante irregulares, de color y calidad

inferiores. Para obtener un producto en proceso de primera calidad, se conocen diferentes métodos mecánicos perfeccionados. En uno de ellos, se consigue la gelatinización mediante la aplicación directa de vapor. Se pone una capa bastante espesa de bolitas de fécula en unas charolas dispuestas en forma de transportador de correa que se hace pasar lentamente por un túnel de vapor, consiguiéndose de esta manera una gelatinización uniforme. (Subrahmanyam, 1986).

Deshidratación.

En el proceso de gelatinización manual de los copos, su contenido de humedad sólo se reduce a un porcentaje muy pequeño, y lo mismo ocurre en el caso de las perlas y semillas sometidas a vapor. Con el procedimiento del cilindro antes descrito, la deshidratación comienza simultáneamente con la gelatinización y puede acelerarse ventilando el cilindro pero también en este caso de eliminación del agua es incompleta.

Por esta razón, es necesario, en general, proceder a la deshidratación final después de la gelatinización para reducir la cantidad de humedad a nivel deseado del 12%, aproximadamente. Lo mejor en este caso es llevar a cabo la deshidratación en cámaras secadoras del tipo circulante; por ejemplo, en una cámara secadora de perlas y semillas, la temperatura inicial no debe exceder de 40°C, para evitar que se inicie otra gelatinización y que se revienten las bolitas. Hacia el final del tratamiento, puede elevarse la temperatura de 60° a 70° C. Con aspiradoras eficaces, la deshidratación puede completarse en hora y media o dos horas. Normalmente de 15 toneladas de fécula húmeda se obtienen 10 ton, del producto seco. (Little, 1994).

CAPÍTULO V

LAS FÁBRICAS DE ALMIDÓN DE YUCA

Para que una fábrica de yuca sea rentable, tiene que cumplir las siguientes condiciones:

- a) disponibilidad durante todo el año de raíces de yuca de la calidad deseada, en cantidades suficientes.
- b) Abundancia de agua que tenga las características apropiadas.
- c) Suministro asegurado de fuerza motriz.
- d) Medios para el transporte de raíces y del producto final.
- e) Disponibilidad de capital y de mano de obra.

En especial, las fábricas de tamaño mediano se dan con más frecuencia en las zonas rurales, con una población agraria bastante densa atravesada por ríos y que cuenten por lo menos, con una carretera que enlace con un centro comercial no muy distante.

Fuerza motriz.

En las fábricas pequeñas y medianas las únicas operaciones que requieren una cantidad considerable de energía son el rellado de las raíces, y cuando existe una instalación de tamizado, la trituration de la harina cruda seca. En los niveles más bajos de producción, por lo tanto, la elaboración puede hacerse totalmente a mano; pero las fábricas rurales más grandes recurren al agua corriente como principal fuente de fuerza motriz. (Bank & Cook, 1992).

Para accionar una ralladora, y eventualmente un tamiz giratorio, basta una rueda hidráulica de aproximadamente 1 m de diámetro, construida con madera dura, que gire alrededor de un eje de hierro. La fábrica se emplaza preferiblemente cerca de un río. En un punto situado aguas arriba, se hace una toma de agua, haciendo correr esta por un canal de dimensiones apropiadas. El volumen de agua que pasa por el canal se regula mediante compuertas antes de llegar a la rueda hidráulica.

Cuando la producción supera un cierto nivel, que depende de varios factores, la energía consumida por la ralladora, el tamiz giratorio, los desintegradores en las instalaciones de tamizado y otros elementos accesorios, tales como bombas, etc, es tanta que resulta más ventajoso utilizar motores que trabajan a base de energía eléctrica para obtener la energía necesaria.

En fábricas modernas situadas cerca de las ciudades, la energía suele proceder de una termoeléctrica a precios reducidos para usos industriales. En la fábrica se recomienda que haya un generador pequeño de reserva (sub-estación eléctrica) para casos de emergencia en caso de que falle la energía.

Agua.

Además de su empleo como generadora de fuerza motriz, para la elaboración de la harina de yuca tiene enorme importancia el disponer de agua pura abundante. Durante casi todo el proceso de elaboración, los gránulos de fécula están en contacto con el agua que, además de los elementos solubles de las raíces, contiene todas las sustancias procedentes del agua que se añade en el cernido de la pulpa húmeda y en

la sedimentación. Los efectos perjudiciales de las materias crudas que contenga en suspensión el agua empleada (turbidez originada por la arcilla, etc.) son evidentes. Pero, aparte de esto, la fécula actúa como un absorbente bastante activo de electrolitos y materia coloidales en suspensión. Como resultado de ello, los iones que contenga el agua, aún cuando solo se encuentren presentes en pequeñas concentraciones, tienden a acumularse en los gránulos. Influyendo así en el aspecto exterior y en las propiedades físico-químicas de la harina obtenida.

Los iones de hierro tiene un efecto especialmente nocivo a este respecto porque además de ser absorbidos con mucha facilidad, tienden a fijar el ácido cianhídrico, componente normal de la yuca, en forma de compuestos de color oscuro. Por esta razón en las fábricas importantes, especializadas en la producción de harina de primera calidad, debe incluso evitarse el uso de hierro en las tuberías y otras instalaciones en aquellos lugares, en que la lechada de harina puede estar en contacto con ellas.

Las fábricas más pequeñas recurren normalmente al agua de manantiales para la elaboración, por ser mucho más pura que la del río. Muchas veces se encuentra agua pura en manantiales próximos a los ríos o pozos artesanos, por lo cual pueden usarse al mismo tiempo las dos clases de agua. El agua de río, en estado natural o purificada en un depósito de sedimentación, se emplea para lavar las raíces mondadas; y la de manantial, o artesiana, que sólo necesita un ligero filtrado, se usa para la fabricación de la harina. Si solo se dispone de agua de río, puede emplearse también esta para la fabricación, después de ser purificada convenientemente. (Bank & Cooke 1992).

Una fábrica pequeña, que emplee depósitos de sedimentación para su lechada de harina, consume alrededor de 1,500L de agua por 100 Kg, de raíces frescas y por tanto, el dispositivo basta para suministrar el agua necesaria cuando la producción diaria es de unas 2 toneladas de harina seca.

La purificación puede también facilitarse por procedimientos químicos por ejemplo, añadiendo un poco de sulfato de aluminio (alumbre), pero este procedimiento se emplea poco. Un método práctico y económico de filtrar el agua consiste en cultivar en los tanques de purificación ciertas plantas acuáticas flotantes, entre los que destacan las tropicales: Eichornia, crassipes, Utricularia spp, Salvina auriculata. Estas plantas recogen en sus raíces pilosas la arcilla y otras materias suspendidas. Su uso se extiende aún en las grandes fábricas. El uso de proceso de intercambio iónico se aplica en algunas fábricas modernas para reducir el contenido mineral del agua empleada en la purificación de almidón, así como para las calderas de vapor.

Se tiene que hacer también un sistema de drenaje para la salida del agua residual de la fábrica y darle el tratamiento que requiere para poder darle otros usos como por ejemplo: en áreas de servicio ó como agua de riego. (Bank & Cook, 1992).

Tipos de fábricas.

A continuación se describirán la disposición, y otros detalles de las fábricas existentes que pertenecen a cada uno de los tres niveles de producción (pequeño, medio y grande) que se han adoptado como base para la clasificación.

Disposición de una fábrica pequeña.

En este tipo de fábricas todo el trabajo se hace con máquinas sencillas accionadas manualmente, o a lo sumo con una rueda hidráulica como generadora de fuerza motriz. En general, estas fábricas no producen más de 200 Kg diarios de harina cruda sin tamizar y si son explotadas por una familia, su producción diaria no pasa de los 150 Kg.

Una fábrica pequeña funciona como se indica a continuación. El agua se saca de un arroyo, que se regresa intencionalmente por el canal que conduce a una rueda hidráulica. La rotación de la rueda se transmite a través de la rueda volante y una correa hasta el raspador, que está montado en la mesa de raspado con banco de asiento. Las raíces se pelan y vierten en la cubeta, donde se lavan con agua limpia procedente de la tubería de alimentación, y se trasladan al raspador. La pulpa obtenida en el raspado se lleva a las cubetas de lavado, donde se lava a fondo con agua de manantial o de río filtrada, corriendo la lechada de harina a los tanques de sedimentación. Después de la sedimentación, el "licor de yuca" se drena juntándose al agua del lavado de las raíces y al agua del canal en su camino hacia el río. La harina húmeda se seca convenientemente cerca de la fábrica sobre bastidores al aire libre, usándose una manta para empaquetar la harina seca cruda. La pulpa residual se trabaja en fábricas de este tipo; se seca al sol y se vende a una fábrica de molienda y cernido junto con la harina cruda.

Disposición de una fábrica de tamaño mediano.

En estas fábricas, la instalación de un motor eléctrico o a diesel de unos 20 HP eleva la capacidad de producción a unas 10 toneladas diarias, como resultado, principalmente la mayor eficacia en la operación del rallado. También las otras

operaciones varían algo de carácter respecto a los procedimientos seguidos en las fábricas pequeñas, pero continúan siendo iguales fundamentalmente y nos se precisa en gran medida de mano de obra capacitada. La fuerza motriz mencionada basta para accionar un rallador mecánico pero muchas veces la fábrica cuenta con una instalación de tamizado cuyo funcionamiento se alterna con el rallador, y la fábrica puede producir harinas acabadas, de tres distintas clases; en tal caso, se requiere disponer de un generador de energía más potente por lo menos de 25-30 H.P.

Estas fábricas son excelentes para zonas rurales en las que se cuente con mano de obra no capacitada relativamente barata, pero donde es difícil obtener maquinaria y personal especializado.

Generalmente, tanto las fábricas pequeñas como las de tamaño mediano tienen que comprar las raíces a los productores de los alrededores. A causa de muchos factores económicos y sociales, el suministro en muchos casos no es seguro ni constante. Por tal motivo, apenas existe la posibilidad de planificar la producción y este factor es probablemente el que más limita el tamaño y rendimiento de estas fábricas. En zonas en que los agricultores o las organizaciones de éstos tiene ideas más elevadas, donde tienen más espíritu comercial y forman empresas industriales rurales para elaborar sus propios productos agrícolas, el suministro de raíces puede organizarse en forma fácil y conveniente, lo cual supone un gran beneficio económico para todas las zonas involucradas.

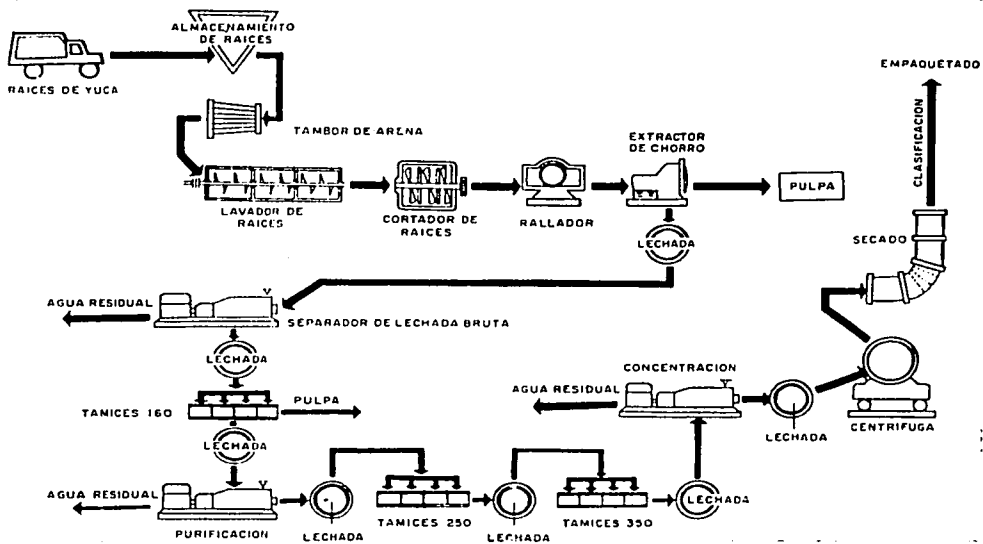
Fábricas de tamaño grande.

Si se comienza con capital suficiente, se pueden vencer los obstáculos mencionados y conseguir inmediatamente una producción mínima diaria de unas 40 toneladas de harina seca. Esta capacidad de fabricación presupone que se tiene una venta de volumen constante a la industria de la dextrina, que es una de las que emplean la fécula de yuca: pero la venta de yuca para fines industriales determinados impone, a su vez, a las fábricas de harina la necesidad de satisfacer una cierta demanda, que se suma a la de una calidad definitiva y constante. Es evidente que estas necesidades solo se podrán satisfacer cuando la fábrica pueda contar con un suministro adecuado y constante de materia prima, es decir, de raíces, obtenidas en sus propias y extensas plantaciones, en las que se cultive una variedad seleccionada de yuca. Únicamente de esta manera vale la pena adquirir maquinaria adecuada para la purificación y adoptar técnicas más complejas de fabricación y con ello, producir económicamente.

La clasificación de las fábricas en estas tres categorías es, por supuesto arbitraria: hay, por ejemplo, fábricas de mediano tamaño que tienen una maquinaria bastante moderna, tales como, centrifugas para la deshidratación preliminar de la harina, mientras que puede ocurrir que otras mucho mayores se limiten a emplear métodos de deshidratación relativamente anticuados. No obstante como regla general, cada fase de elaboración de la harina se lleva a cabo en una forma que es

Las operaciones de elaboración que actualmente se utilizan se describen a continuación en los siguientes diagramas de proceso. Así mismo se muestra un

diagrama de las operaciones de una gran fábrica propuesta para establecimiento en el sureste de México, empleando equipos y maquinarias modernas. (Pedroza, 1993)



ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

CAPÍTULO VI

UTILIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS DE YUCA.

Empleo de la yuca en la alimentación humana.

Aunque la yuca se clasifica algunas veces como cultivo para países en vías de desarrollo, o que se consume solamente por la población rural, el gran volumen que se cultiva actualmente en los trópicos se consume en todas sus formas por casi todos los niveles de ingreso.

Originalmente, sólo los pueblos de América del Sur cultivaban la yuca como alimento principal, pero actualmente se cultiva como sustituto del arroz o alternándola con éste en grandes extensiones, de regiones en las cuales durante siglos, el arroz ha sido el principal cultivo dedicado a la alimentación. (Caldwel, 1984).

En muchos países tropicales, la yuca es la principal fuente de hidratos de carbono y ocupa en la alimentación una categoría análoga a la de la papa en ciertas partes de las zonas templadas. Esta claro que la yuca no es un alimento completo, ya que está compuesto principalmente de almidón. No obstante, es la remuneradora de las plantas del cultivo de los países cálidos, que da quizás un mayor rendimiento de almidón por hectárea, que cualquier otro cultivo con un mínimo de mano de obra.

Durante la Segunda Guerra Mundial, la yuca alcanzó una enorme importancia como recurso contra el hambre en mucha partes del mundo, especialmente cuando faltaron los suministros de arroz del exterior.

Las hojas y los vástagos tiernos se usan en muchas zonas tropicales cocidas verdes o como parte de una salsa, ya que son ricas en vitaminas y tiene un elevado contenido de proteínas. En el sureste de México se preparan diversos platillos regionales acompañados de yuca y otros tubérculos comestibles y plátano macho, también se preparan y son muy populares las torrejitas (rebanadas fritas o cocidas) de yuca. (Gran Diccionario Enciclopédico Ilustrado, 1990)

Principales elementos componentes y valor nutritivo.

La comparación de la composición química de las raíces tuberosas de la yuca y de algunos de sus derivados, como el galek y la harina de tapioca, con la de la papa y el arroz, que pone de manifiesto el cuadro 5; sirve para formarse una idea del valor nutritivo relativo de aquélla, aunque ha de tenerse presente que sólo es comestible la raíz pelada. (Mijholt & Van Veen, 1990).

CUADRO 5. NUTRIELEMENTOS DE LA RAÍZ DE YUCA COMPARADOS CON LOS DE OTROS TUBÉRCULOS.

	Calorias por 100 g.	Proteína	Grasas	Carbohidra- tos	Ceniza	Humedad	Fibra
P. AlimenticioPorcentaje.....						
Raíces de yuca	127	0.8	0.4	32	0.4	65	0.8
Gaplex.....	355	1.5	1.0	85	0.8	15	—
Harina de papa..	331	—	0.2	82	0.3	15	0.5
Arroz s.cáscara	347	8.0	2.5	73	1.5	15	0.8

Como la yuca tiene un menor contenido de proteínas y grasas que el arroz y las papas, se emplean a menudo, proteínas de origen animal u otros productos tales; como la soya para balancear la alimentación.

Además del almidón, la raíz de yuca contiene algunos hidratos de carbonos solubles, como la glucosa y el azúcar, que pueden invertirse y que dan un agradable sabor dulce a los tubérculos de las variedades no tóxicas. Las raíces mondadas

contienen solamente una proporción del 1 al 3% del total de materia seca, pero esta proporción aumenta considerablemente cuando la planta tiene de 16 a 18 meses, época en que comienza a bajar el contenido de almidón. La piel contiene más hidratos de carbono solubles 5-10% de materia seca y, en algunos casos, llegan hasta una quinta parte del contenido total de hidratos de carbono.

Deficiencia proteínica y/o vitamínica.

Las deficiencias nutritivas de la yuca no deben ser causa de preocupación cuando se consume con otros alimentos suplementarios. Sin embargo, el llamado "problema de la yuca" en cuanto se relaciona y se conoce con el nombre de "enfermedad de Kwashiorkor" es que las personas con bajos ingresos tienen tendencia a consumirla en cantidades excesivas, a causa de que proporciona suficientes calorías y da sensación de saciedad en la ración alimenticia y, por consiguiente, pueden padecer deficiencia proteínica y/o vitamínica si no se balancea la dieta con otros alimentos ricos en proteínas y/o vitaminas.

Yuca cruda y cocida para consumo inmediato.

Las raíces de las variedades dulces sólo se usan en crudo como forraje, sin necesidad de pelarlas.

La raíz fresca y mondada de las mismas variedades sirve para la alimentación humana, con tal de que sólo tenga unos pocos meses, pero raramente se usa de esta

manera. Una vez preparada no dura más de un día. Las raíces de las variedades más dulces se comen a veces crudas como bocadillos entre las comidas, para quitar la sed.

Basta hervir la raíz para que se convierta en un equivalente de la patata, aunque de gusto un poco más fuerte. Para destruir al ácido cianhídrico en la raíz fresca se corta en rodajas, que se ponen a cocer lentamente después de haberlas echado en un recipiente con abundante agua fría de modo que en el calentamiento gradual asegura la hidrólisis del principio tóxico. Si se someten las raíces a un calor demasiado intenso, suprimiendo con ello la acción enzimática, puede ocurrir que no desaparezca el ácido cianhídrico combinado, y en las variedades amargas puede ser muy peligroso. Se pueden recomendar también, aunque siempre con las mismas reservas, la cocción al vapor, y especialmente la fritura en aceite, métodos ambos que dan por resultado un alimento sabroso.

En Indonesia, a menudo se espolvorean las raíces con un preparado de levadura, envolviéndola después en hojas; y se dejan fermentar durante 24 horas para lograr un plato complementario sabroso y ligeramente alcohólico.

Muchas formas de platos alimenticios a base de yuca como ingrediente básico, hervida o cocida, a la que se añade carne de cerdo, chicharrón de cerdo, vegetales, pescado, torta de soya, camarones o cualquier otra fuente proteínica, se preparan en varios países, por ejemplo: krubuh, katela o galletas de pescado o camarones en el Lejano Oriente; sancochado, escabeche seco de carnero, cebiche y pachamanca en

América del Sur; vigoión, buñuelos en Centro América, puchero de res o de gallina, torrijas, en el Sureste de México.

Conserva de yuca.

Gaplek

El método más sencillo de conservación consiste en cortar las raíces en rodajas y sacarlas al sol, para lo cual bastan dos o tres días en los trópicos, se le denomina Gaplek. Una vez secas las rodajas, el gaplek puede conservarse bastante tiempo; pero, durante el proceso de deshidratación, está expuesto a enmohecerse, lo que le hace inservible como alimento para el hombre.

La harina de gaplek tiene cierta aplicación en las industrias que utilizan el almidón, por ejemplo, para el aprestado de tejidos y la fabricación de alcohol, en las que no tiene gran importancia el elevado contenido de mohos, fibras y otras partes de la raíz como sería fácil poder emplearlo como materia prima para la fabricación de almidón puro de tapioca. (Subrahmanyam, 1986).

El almidón de yuca y sus usos.

La harina de yuca se emplea directamente preparando productos cocidos ó gelatinizados, o se convierte en glucosas, dextrosas, y otros productos.

Los alimentos amiláceos han formado parte de la alimentación humana, ya que son; abundantes, económicos, satisfacen el requerimiento calórico y dan sensación de saciedad. En su mayor parte se consumen de las plantas que contienen almidón o de alimentos a los cuales se han añadido almidón comercial o sus derivados.

Probablemente, el primero fue obtenido por los egipcios a partir de trigo como alimento y para pegar las fibras, con objeto de fabricar papiros, ya hacia los años 3500-4000 A.C.

Los almidones se obtienen actualmente, en muchos países de materias primas amiláceas muy diversas tales como trigo, maíz, arroz, cebada, avena, patatas, yuca, palma, sagú, etc. Aunque tienen propiedades químicas similares y suelen ser intercambiables, según su procedencia tienen estructuras granulares distintas que influyen en sus propiedades físicas.

El almidón y los productos amiláceos se usan en muchas industrias alimentarias y no alimentarias, así como en muchas aplicaciones, por ejemplo, plásticos, curtido de pieles y otras. El uso no alimentario de almidones, como en revestimientos, adhesivos y colas, representa aproximadamente 50% de la producción de la industria del almidón comercial.

Sin embargo, en muchas aplicaciones industriales hay competencia, no solo entre almidones de diferentes fuentes, sino también entre almidones y otros muchos productos. La cola de resina ha venido a sustituir en gran parte el almidón en la madera contrachapada, a causa de su mayor resistencia a la humedad; los acabados de resina se emplean en la industria textil, y las gomas naturales compiten con los almidones en la fabricación de papel. De todos modos, la investigación y desarrollo de nuevos productos ha permitido a la industria del almidón seguir su expansión. El desarrollo de la industria del almidón en el futuro parece muy prometedor, a condición de que la calidad de los productos y el desarrollo de nuevos productos sean tales que compitan con los diversos productos sustituidos. (Mendiola, 1982).

Industrias alimentarias.

Las industrias alimentarias son uno de los consumidores más importantes de almidón y sus productos. Además, se venden grandes cantidades de almidón en forma de productos en envases pequeños para usos culinarios. La yuca, el sagú y otros almidones tropicales se emplearon mucho para alimento antes de la Segunda Guerra Mundial, pero su volumen disminuyó como consecuencia de la alteración del comercio mundial originado por la guerra. Se hicieron intentos para corregir desarrollar maíz céreo, para sustituir a los almidones normales no cerealícolas, pero la producción de almidón de yuca ha aumentando considerablemente durante los últimos años.

En la industria alimentaria se usan almidón sin modificar, almidón modificado y glucosa para uno o más de los siguientes fines:

- a) Directamente: como alimento amiláceo cocinado, flanes y otras formas.
- b) Carga: contribuyendo al contenido de sólidos de (sopas, píldoras, tabletas, alimentos infantiles, salsas, aderezos, etc)
- c) Aglutinante: adhesión de los productos y prevención del secado de la masa durante el cocinado (en salchichas y carnes elaboradas embutidas)
- d) Estabilizador: utilizando la elevada capacidad de retención del agua del almidón (mantecados-helados). (Walker, 1993/ Nikuni, 1991)

Productos de panadería.

Aunque el almidón es el constituyente principal de las harinas, el arte de la fabricación del pan depende en gran parte de la selección de la harina con las

características apropiadas del gluten. El almidón se emplea en la fabricación de galletas para aumentar su propiedad de extenderse y de crujiir. En Malasia, el almidón de yuca se emplea en galletas, dulces o no, y en bocadillos de nata (crema) en proporción de 5 a 10%, con el fin de ablandar la textura, aumentar el sabor y hacer que la galleta no se pegue. El uso de dextrosa en ciertas clases de pan subido con levadura y productos de panificación tiene ciertas ventajas, ya que está fácilmente disponible para la levadura, y la fermentación resultante es rápida y completa. También de un color pardo dorado a la corteza y un periodo de conservación más prolongado.

Confitería.

Además del amplio empleo de dextrosa y jarabe de glucosa como agentes edulcorantes en confitería, el almidón y los almidones modificados se utilizan también en la fabricación de varios tipos de dulces, tales como grageas gelatinosas ("jelly beans"), "toffes" gommas blandas y duras, dulces hervidos duros, "fondants" y delicias turcas. El almidón se emplea principalmente en la manufactura de gommas, pastas y otros tipos de dulces como ingrediente de confitería, en la fabricación de moldes y para espolvorear los dulces con el fin de evitar que se peguen. La dextrosa evita la cristalización y disminuye la higroscopicidad del producto terminado.

Conservas de frutas compotadas y mermeladas.

Entres los progresos recientes en estas industrias, pueden citarse la sustitución parcial de la sacarosa, por la dextrosa ó el jarabe de glucosa exento de dióxido de azufre. Esto ayuda a mantener el porcentaje deseado de sólidos en el producto sin dar

un dulzor excesivo y, por tanto, aumentando el sabor natural de la fruta. Por otra parte, se disminuye la tendencia a la cristalización de los azúcares. (Phillips, 1992).

Glutamato monosódico (GMS).

Este producto se utiliza mucho en diversas partes del mundo en forma de cristales como agente potenciador de sabor en alimentos tales como carnes, hortalizas y salsas. El almidón de yuca y las melazas de las mezclas son las materias primas principales que se emplean en la fabricación del GMS en los países del Lejano Oriente y de América Latina. El almidón se hidroliza usualmente pasando a glucosa por ebullición con soluciones de ácido clorhídrico ó de ácido sulfúrico, en convertidores cerrados ó reactores a presión. La glucosa se filtra y se convierte en ácido glutámico por fermentación bacteriana. El ácido glutámico resultante se refina se filtra y se trata con sosa cáustica, obteniéndose así glutamato monosódico, que luego se centrifuga y se seca. El producto terminado suele tener una pureza de 99% o más.

Industria de la glucosa.

Según Whistler y Paschell, Abud Mansur, profesor y farmacólogo árabe describió alrededor del año 975 A.C. la conversión del almidón con saliva, que producía una miel artificial. En 1811, Kirchoff descubrió que podía producir azúcar por la hidrólisis ácida del almidón. En la naturaleza la glucosa ó dextrosa se encuentra en las frutas dulces, tales como las uvas, y en la miel. Es menos dulce que la sacarosa (azúcar de caña o de remolacha) y también menos soluble en agua. Sin embargo, cuando se emplea junto con sacarosa, el dulzor resultante suele ser mayor de lo esperado.

La fabricación comercial de azúcares de glucosa a partir de almidón empezó durante las guerras napoleónicas en Inglaterra, cuando los suministros de sacarosa quedaron cortados de Francia por el bloqueo marítimo, pero en los Estados Unidos se hicieron rápidos progresos en su fabricación a mediados del siglo XIX.

En la actualidad, la glucosa se fabrica en forma de jarabe ó de un sólido, y las propiedades físicas del jarabe varían según el equivalente de dextrosa (ED) y el método que se haya seguido en la fabricación. El equivalente de dextrosa es el total, de azúcares reductores expresado como dextrosa y calculado como porcentaje del total de sustancia seca. La glucosa es el nombre corriente para el jarabe y la dextrosa para el azúcar sólido. La dextrosa, que a veces se llama también azúcar de uva es la D - glucosa obtenido por la hidrólisis completa del almidón. (Jacquot & Natan, 1986).

Hidrólisis del almidón.

Hay dos métodos para la hidrólisis del almidón que se emplean actualmente para la fabricación de glucosa en escala comercial: hidrólisis ácida e hidrólisis parcial seguida de una conversión enzimática. (Everington, 1992).

La acidificación es la conversión del almidón en glucosa por hidrólisis ácida. Esta operación se realiza en proceso discontinuo o continuo. En el primer caso, la papilla del almidón de 20-21% se mezcla con ácido clorhídrico (algunas veces se emplea ácido sulfúrico) para llevar el pH alrededor de 1.8 - 2.0 en un convertidor de vapor (reactor) y se calienta a unos 160°C hasta que se alcanza el ED deseado. El proceso continuo

está sustituyendo al discontinuo y comprende la carga de la mezcla de papilla de almidón y de ácido clorhídrico en un intercambiador de calor tubular. El tiempo y la temperatura de la operación ajustan al ED deseado en el producto final.

En la segunda fase, la mezcla acidificada se neutraliza con carbonato sódico para separar el ácido libre y se lleva el pH a 5.0-7.0. Se forma cloruro sódico en el jarabe en pequeñas cantidades como resultado de la neutralización.

A continuación viene la refinación. Algunos sólidos (impurezas, proteínas precipitadas y grasas coaguladas) pueden eliminarse por precipitación o por separación centrífuga. Las impurezas dependerán principalmente del almidón que se emplee y de su pureza. La solución se hace pasar luego por filtros de tipos adecuados: filtros - prensa, ó filtros cerámicos de tipo de de bujía.

El filtrado claro de color pardo se decolora haciéndolo pasar por carbón activado para la adsorción de impurezas.

La refinación puede hacerse por resinas de intercambio iónico, en lugar de carbón activado o conjuntamente. Una reciente evolución en la refinación del licor convertido se basa en el empleo de electrodiálisis; el jarabe de glucosa final es de mejor calidad.

La concentración final. El jarabe refinado se concentra finalmente al vacío en convertidores discontinuos o intercambiadores térmicos continuos hasta que el jarabe

concentrado llega a 80 – 85% de sólidos ó 43 – 45° Bé. Los jarabes de glucosa comerciales se venden tomando como norma los grados Baumé que es una medida del contenido de sustancias secas y el peso específico. (Kennedy, 1985).

El jarabe de glucosa se transporta en bidones, o a granel en tanques – pipa por ferrocarril o por carreteras. No debe almacenarse en grandes cantidades durante mucho tiempo, porque puede resultar alterado el color del jarabe.

En los procesos enzimático-ácidos la papilla de almidón se somete a una hidrólisis parcial, como en el caso anterior; después de neutralizar y filtrar el jarabe, se ajustan a las condiciones óptimas de la enzima y se adiciona ésta agitando lentamente. El tiempo de conversión depende del equivalente de dextrosa inicial obtenido por hidrólisis ácida. Una vez terminada la transformación, se inactiva la enzima elevando la temperatura y ajustando el pH y el jarabe convertido se refina y se concentra a la misma manera que en el caso del jarabe de glucosa de conversión ácida.

El empleo de algunas enzimas da como resultado valores de ED que llegan hasta 98 – 99, lo cual significa mayor rendimiento de dextrosa a partir de almidón, ó conversión casi completa de almidón a dextrosa. Sin embargo, cuando se utiliza ácido como agente hidrolizante, el ED del licor de conversión llega solamente a 92, aproximadamente, porque tiene lugar un cierto grado de policondensación y se pierde parte del rendimiento de dextrosa debido a la acidez y las altas temperaturas que se necesitan para la conversión.

Producción de dextrosa.

En la actualidad, la mayor parte de la dextrosa comercial se prepara en forma de dextrosa monohidrato puro, por un proceso de combinación ácido enzimático. El jarabe espeso caliente de glucosa, de una concentración de 70 – 80% de dextrosa, pasa desde el evaporador a pailas de cristalización. La formación de cristales del jarabe se realiza en centrifugas, y las impurezas se quedan en el licor madre. La dextrosa cristalina se seca luego en secadores rotatorios de aire caliente al vacío y luego se ensaca en materiales impermeables a la humedad. También este secado puede efectuarse a través de evaporadores.

La recristalización de jarabe de glucosa tiene que ser lo más puro posible, con un contenido bajo en proteínas, particularmente de proteína soluble. A este respecto el almidón de yuca puede ser preferible a otros almidones.

Existe un interés cada vez mayor por la fabricación de jarabe de glucosa directamente a partir de raíces amiláceas ó granos en vez de almidón separado, con el fin de ahorrar capital invertido en la producción y purificación de almidón a partir de dichas materias primas.

La industria de la conversión de almidón a glucosa ó dextrosa es el mayor consumidor independiente de almidón, ya que utiliza alrededor del 70% del total de la producción de almidón. El jarabe de glucosa y la dextrosa cristalina compite con la sacarosa y se usan en grandes cantidades en las industrias de frutas en conserva, confitería, compotas, jaleas, mermeladas, mantecados, helados, productos de

panadería, alimentos infantiles, salsas, aderezos, productos farmacéuticos, bebidas, y fermentaciones alcohólicas.

El objetivo funcional de la glucosa y de la dextrosa en la industria de confitería es impedir la cristalización de la sacarosa; en la industria de productos de panadería: suministrar carbohidratos fermentables y favorecer el color dorado, y en las conservas de frutas, mantecados - helados o industrias similares, aumentar los sólidos sin causar un incremento indebido en el dulzor total, aumentado así el aroma natural de la fruta, y también prevenir la formación de cristales de hielo grandes que destruyen la textura suave.

En general la glucosa y dextrosa se usan en la industria alimentaria como sustitutos parciales ó completos de la sacarosa. El empleo de dextrosa ha aumentado en los últimos años en las industrias procesadoras de alimentos. (Nijuni, 1992/ Knight, 1991).

La yuca en las harinas compuestas.

En muchos países en vías de desarrollo, el consumo de pan se está extendiendo continuamente y hay una creciente dependencia del trigo importado. Sin embargo, la mayoría de estos países cultivan productos básicos distintos del trigo, que pueden usarse para fabricación de pan. Algunos cultivan tubérculos amiláceos como la yuca, el ñame y los boniatos, y otros cultivan cereales, como maíz, mijo, soya, o sorgo. Por consiguiente desde el punto de vista económico sería ventajosos para estos países si pudieran reducir las importaciones de trigo, o incluso eliminarlas, y la demanda del pan

podría satisfacerse mediante el uso de productos cultivados en el mismo país en lugar de trigo para la producción de pan.

El programa de la harina compuesta se inició por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en 1964 y se concibió en un principio para obtener productos de panadería a partir de materias primas disponibles localmente, sobre todo en aquellos países que no podían satisfacer sus propias necesidades de trigo. Aunque se obtuvieron productos de panadería de harina compuesta de buena calidad, la textura y el sabor de los productos seguían siendo diferentes de los obtenidos con harina de trigo. El pan hecho con harina sin gluten tiene la estructura de la miga y de la corteza de una torta en vez de la que tiene el pan, y no podría considerarse aceptable para personas que están acostumbradas a comer el pan común.

El pan ligero, de estructura uniforme, hecho con harina de trigo y la miga blanda características se deben a las propiedades del gluten de harina de trigo que se hincha con el agua, y forma láminas flexibles que pueden retener el gas de la fermentación. Si se emplea almidón puro obtenido de otros cereales o tubérculos, el producto es mucho más rígido y su textura es irregular, porque queda una insuficiente cantidad de gas retenida en la masa. Por tanto, cuando se utilizan almidones que no contienen proteínas formadoras de gluten, hay que adicionar durante la preparación de la masa agente de aglutinamiento para juntar los gránulos de almidón por ejemplo, clara de huevo, gomas monoestearato de glicerilo.

Se han hecho esfuerzos en muchos países por fabricar pan por métodos tradicionales a partir de harina de trigo a la que se añaden otras harinas, como la de la yuca. Se ha comprobado, generalmente, que el límite superior de dicha adición es, aproximadamente de un 10% ya que la calidad del pan resultante se empeora rápidamente cuando se sobrepasa este límite de harina que no es de trigo. (Kim & de Ruiter, 1989). Sin embargo, experimentos recientes han demostrado que es posible aumentar considerablemente la proporción de la harina que no es de trigo sin alterar excesivamente las características a condición de que se agreguen determinados mejoradores del pan, tales como estearil - lactilato cálcico, ó bien puede usarse un porcentaje relativamente elevado de grasa y azúcar. Se ha fabricado pan de calidad aceptable empleando un 30% de almidón de maíz y un 70% de harina de trigo (Kim & de Ruiter, 1988/1989).

Experimentos realizados en el Instituto de Tecnología de los Alimentos en Río de Janeiro, Brasil demostraron que puede añadirse 10% de harina de yuca y 5% de almidón de maíz o de yuca a la harina de trigo de fuerza mediana (9 - 11% de gluten), y obtener una masa que contiene solo el 1% de grasa vegetal compuesta y cocerse, obteniendo panes de calidad y aspecto tan buenos como los de las respectivas muestras de harina de trigo.

Las perspectivas para la producción comercial y la ampliación del consumo de pan hecho con harinas compuestas en varios países dependerán de la aceptación local del público, según sabor y características del pan, y del precio a que el pan estará disponible.

Los hábitos alimentarios se basan primordialmente en las condiciones socio económicas y de costumbres más que en consideraciones científicas. Los cambios en las costumbres arraigadas pueden verificarse gradualmente mediante la educación pública y la divulgación de conocimientos. (Holleman, 1992).

La yuca en la alimentación animal (forrajes).

La yuca se cultiva tradicionalmente para la producción de raíces, las cuales almacenan carbohidratos en forma de almidón y constituyen una excelente fuente de energía para la alimentación humana o animal. En este último caso se utilizan también otras partes de la planta.

La hoja de la planta de yuca contiene aproximadamente 25% de proteína, mientras que el peciolo y el tallo contienen 12%. El contenido de proteínas varía de acuerdo a la edad de la planta que es mayor en plantas jóvenes de 60 a 90 días de edad. Con las hojas, peciolos y tallos de las plantas jóvenes se obtiene un forraje de 15-18% de proteínas.

El forraje de yuca también contiene vitaminas "A", calcio, y fósforo que son necesarios para la alimentación animal, y supera en contenido de éstos en otras especies forrajeras. Se puede ensilar como cualquier otro forraje si se dispone de silos adecuados de cualquier clase y cuidar que esté bien apisonado y evitar la entrada de aire.

Los procesos de henificación y ensilado, eliminan totalmente el ácido cianhídrico del forraje. (Zapata & Rubio, 1993).

El forraje de yuca constituye una excelente fuente de proteínas para vacas lecheras, en pastoreo, o en manejo intensivo y se puede suministrar fresco, ensilado o henificado.

En la alimentación de ganado porcino, así como de ovinos y cabríos, es conveniente henificar el follaje, para eliminar el ácido cianhídrico, pues no ocasiona problemas en rumiantes, puede ocasionar efectos tóxicos en porcinos, ovinos, cabríos y aves de corral. De esta forma se puede emplear hasta en 20% en la dieta para engordar y 40% en la dieta de cerdos, ovejas y cabras en gestación y lactancia.

En la alimentación de pollos de engorda las dietas con un 20% de harina y follaje, de yuca pueden mejorar la producción y calidad del producto en el mercado; se puede utilizar para gallinas, en donde no se afecta la producción y peso promedio de los huevos.

La producción y utilización del forraje de yuca como fuente proteínica reduce los costos en comparación con otras fuentes proteínicas vegetales como, la alfalfa y soya, que son incosteables en el sureste de México.

Actualmente, muchas de las grandes fábricas están dotadas de ordenadores electrónicos para determinar la composición de los compuestos, en términos de valores y precios de los piensos ó forrajes. (Juárez, 1988).

Uso no alimentario de la yuca.

El almidón es un buen adhesivo natural. Hay dos tipos de adhesivos que se obtienen a partir de almidones modificados y dextrinas: adhesivos secados en rodillo y adhesivos líquidos.

La aplicación de yuca en adhesivos continúa siendo, hasta la fecha, una de las más importantes del producto. En la fabricación de adhesivos, el almidón se gelatiniza sencillamente en agua caliente o con ayuda de productos químicos. Para la transformación en dextrina, se somete a la acción desintegradora de productos químicos, calor ó enzimas, sólo ó en combinación.

Con adhesivos de almidón gelatinizado, los requisitos de calidad son tales que se pueden usar harinas de calidad mediana. En la fabricación de dextrina, las exigencias son mucho mayores: son aceptables únicamente las harinas de máxima pureza con factor ácido bajo. Se prefiere la dextrina de yuca en las gomas para rehumedecimiento para sellos, sobres, estampillas postales, etc., debido a sus propiedades adhesivas y su sabor y olor agradables. (Greenstreet, 1992).

Las dextrinas se descubrieron accidentalmente en 1821, con ocasión de un incendio en una fábrica de tejidos de Dublín (Irlanda), cuando uno de los obreros notó que parte del almidón no utilizado se había vuelto de color café por el calor, y se disolvía fácilmente en agua. Dando una pasta adhesiva. (Gosh, 1986).

Se conocen tres grupos primarios de dextrina: dextrinas "british gums", dextrinas blancas y dextrinas amarillas.

Las primeras se forman calentando el almidón solo en presencia de pequeñas cantidades de sales alcalinas, a una temperatura entre 180-220°C. Los productos finales tienen un color que va de claro a café oscuro. Dan soluciones cuya viscosidad es menor que la del almidón.

Las dextrinas blancas se preparan calentando suavemente el almidón con una cantidad relativamente grande de catalizador, por ejemplo ácido clorhídrico a una temperatura entre 80-120°C. durante un tiempo corto. El producto final tiene un color casi blanco, su solubilidad en agua es limitada y retiene grados variables de la tendencia a la retrogradación del engrudo de almidón original.

Las dextrinas amarillas se forman cuando se usan dosis de catalizador o ácidos menores con temperaturas más altas de conversión (150-220°C.) durante tiempos más prolongados para la conversión. Son solubles en agua, forman soluciones de baja viscosidad y tiene un color que va del amarillo claro al pardo. (Histler & Pashall, 1985).

En el estado de Chiapas, al sureste de México, se refleja la influencia de la industria de adhesivos localizados en Tapachula, la cual se utiliza el 75% de la producción del Estado para extraer almidón de yuca. Este mercado ha sido un estímulo para la producción y ha hecho sentir la necesidad de aumentar los rendimientos, observándose que están en el orden de 20.3 Ton/ha, promedio, contra solo 16.0 del

Estado de Tabasco. Su potencial no se limita a la Región Sur oriental, si no que se puede desarrollar en muchas áreas tropicales del país, debido a su facilidad de adaptación y vigor. (CIAGOC, SARH. Logros y aportaciones de la investigación agrícola en el estado de Tabasco. Pedroza, 1993).

A continuación se indican algunas de las aplicaciones más importantes de dextrinas en las industrias no alimentarias.

Fabricación de cartón ondulado o corrugado. La mayor utilización de dextrinas se encuentra en la industria del cartón corrugado, que incluye la fabricación de cartones, cajas y otros envases; las capas de cartón se egoman juntas por medio de una suspensión de almidón bruto en una solución de la forma gelatinizada. El cartón se prensa en rodillos calientes, que efectúan la gelatinización del almidón bruto, dando una adhesión muy fuerte. Para este fin, son adecuadas las harinas de calidad media, siempre y cuando el contenido de pulpa no sea demasiado alto.

Gomas para rehumedecimiento. Son adhesivos que se aplican en forma de cpa sobre superficies y se secan por ejemplo, en el caso de los sellos postales y los sobres. Las dextrinas de yuca en solución acuosa son muy adecuadas para este fin, puesto que dan una solución con elevada proporción de sólidos y propiedades de mecanizado limpio.

Papel Tapiz y usos caseros. Varios tipos de productos del almidón constituyen la base de los adhesivos domésticos en general, tales como el usado para papel tapiz y otros semejantes.

Industria de la fundición. El almidón se usa como adhesivo, revistiendo los granos de arena y pegándolos entre sí en la fabricación de núcleos que se colocan en moldes en la manufactura de coladas para metales.

Perforación de pozos. Almidones y almidones modificados mezclados con arcilla se usan para dar la viscosidad correcta y la capacidad de retención de agua de taladros para reforzar pozos de petróleo o de agua. Estos productos amiláceos están sustituyendo a otros productos comerciales para hacer los materiales fangosos indispensables para la perforación de pozos. Para este fin, conviene un almidón pregelatinizado soluble en agua fría, que puede trabajarse hasta dar un engrudo que tiene la concentración necesaria "in situ".

Industria papelera. En la industria de papel y cartón, se usa almidón en grandes cantidades en tres puntos de fabricación.

- a) En el extremo húmedo, donde la fibra celulósica básica se bate hasta dar una pulpa adecuada para aumentar la fuerza del papel terminado y conseguir cuerpo y resistencia a la aspereza y plegado.
- b) En la prensa de encolado, en cuya fase la hoja del papel o cartón se ha formado y secado parcialmente, el almidón (generalmente oxidado o modificado) se suele añadir a uno o ambos lados de la hoja de papel o cartón que se ha secado

parcialmente para mejorar el acabado, el aspecto, la resistencia y las propiedades de impresión del papel.

- a) En la operación de revestimiento, cuando se necesita un revestimiento de pigmento u otra capa de papel, el almidón actúa como agente de revestimiento y como adhesivo

El almidón de yuca se ha utilizado para el engomado en cubetas y el engomado por medio de batidoras en la manufactura de papel, debido principalmente a su bajo precio. En este caso, se necesita que posea una buena coloración (blancura), que contenga pocas impurezas y fibras, y sobre todo, que los lotes sean uniformes. (Cristaldo, 1990).

Una nueva e importante aplicación del almidón consiste en una máquina de estucar el papel de revistas, que anteriormente se hacía exclusivamente a base de caseína. Parece que la yuca es especialmente adecuada para esta finalidad; pero todavía no se han formulado las especificaciones concretas que debe reunir el almidón en este caso. (Cristaldo, 1990).

Industria textil. En la industria textil, los almidones ocupan un lugar importante en operaciones tales como engomado de urdimbre, aprestado y estampado de tejidos. El engomado de urdimbre es la aplicación de un revestimiento protector para impedir que se desintegren las fibras individuales durante la tejedura. Este apresto está constituido por un adhesivo y un lubricante y generalmente se elimina después de tejer. El

aprestado altera el tacto de la tela, haciéndola más fuerte, dura, resbaladiza, pesada y para evitar que se ensucie rápidamente.

El almidón de yuca se usa también para estampados de tejidos o para producir ciertos diseños en varios colores sobre la superficie lisa de un tejido acabado.

Constituye una excepción la manufactura de filtros, en cuyo aprestado se emplea la yuca exclusivamente.

Muebles de madera. En algunos países del Lejano Oriente, la fabricación de contrachapados y tableros se basa en gran parte en el empleo de yuca como adhesivo. El material básico para este objeto se gelatiniza a la temperatura ambiente con una doble cantidad de hidróxido sódico. Se forma una parte muy espesa que se amasa durante mucho tiempo para darle la consistencia filamentososa requerida, y la cola se aplica a la madera con rodillos. En este caso, conviene que contenga una cierta cantidad de pulpa, por lo que se prefieren las harinas de calidad entre media y baja, en cambio, la arena que algunas veces se encuentra en ellas constituye un defecto.

Sin embargo, el empleo de yuca como adhesivo ha pasado a segundo lugar desde que las sustancias plásticas (polímeros) resistentes al agua aparecieron. (Cristaldo, 1990).

Tableros de partículas a partir de tallos de yuca.

A medida que aumente el cultivo de la yuca, se dispondrá de mayor cantidad de tallos. El Instituto de Productos Tropicales de Londres ha estado trabajando sobre la utilización de la planta de yuca. Ha podido obtener tableros de partículas a partir de tallos de yuca, cortados en pequeñas secciones, y mezclados luego con algunas resinas. La resistencia del tablero puede variar alterando el contenido de resina o la densidad. (Coursey, 1987).

Productos fermentados.

Alcohol de yuca.

La yuca es una de las materias primas fermentables más ricas para la producción de alcohol. Las raíces frescas contienen aproximadamente un 30% de almidón y un 5% de azúcares, y las raíces secas contiene alrededor de 80% de sustancias fermentables, que son equivalentes al arroz como fuente de alcohol. (Akinrele, 1983).

El alcohol etílico se obtiene a partir de carbohidratos. En Malasia y algunos otros países, muchas fábricas están equipadas para poder utilizar raíces de yuca, almidón o melazas (subproducto de la industria azucarera) dependiendo del tipo de producto, del costo de las materias primas. Cuando se emplea la yuca, las raíces se lavan, se aplastan hasta obtener una pulpa fina y luego se tamizan. La sacarificación se realiza añadiendo ácido sulfúrico a la pulpa en vacío, hasta que el total de azúcares alcanza de 15-17% del contenido. El pH se ajusta empleando carbonato sódico, y luego se deja la fermentación por levadura durante 3-4 días bajo temperatura adecuada para la producción de alcohol, dióxido de carbono y pequeñas cantidades de otras sustancias a

partir de azúcar. Después se separa el alcohol por destilación al calor. El rendimiento de la conversión es aproximadamente de 70-110 litros de alcohol absoluto por tonelada de raíces de yuca, según sean la variedad y el método de fabricación. El alcohol bruto de yuca es de una calidad promedio. Tiene un olor desagradable, pero puede mejorarse si se prescinde de las fracciones de cabeza y cola de la destilación. Generalmente se utiliza para fines industriales, tales como cosméticos, disolventes y aplicación medicinal. Sin embargo, si la producción se requiere para consumo humano, debe tenerse especial cuidado en la manipulación de las raíces para quitar el ácido cianhídrico.

Levadura seca.

Producción de proteína microbiana a partir de la yuca. En muchas áreas, especialmente de las regiones tropicales, el cultivo de yuca es bastante promisorio y puede constituir la base para programas de alimentación porcina. A menudo en dichas regiones no se producen cultivos que aporten o suplan la proteína necesaria para balancear las dietas: vitaminas y minerales como en la mayoría de los casos son requeridas en cantidades pequeñas y se encuentran comercialmente disponibles.

(Akinrele, 1983).

Una posibilidad atractiva para el futuro es la producción de proteína microbiana a partir de productos energéticos, como las raíces de yuca. Para estudiar la factibilidad el Centro de Investigación Agrícola (Programas de yuca y porcinos), y la Universidad de Guelph, Canadá, con el apoyo y coordinación del Centro Internacional de Investigaciones para el desarrollo de (CIID), permiten considerar la posibilidad de producir proteínas microbianas con base en un proceso de fermentación que utiliza los carbohidratos de la yuca como fuente energética, con una fuente nitrogenada no

proteica tal como la urea. Mediante este proceso es posible obtener un producto final con una cantidad de proteína del orden del 35-49% en base seca, cuya calidad nutricional, cuando es suplementada con 0.2 - 0,3 % de metionina, es similar a la caseína. El proceso reviste ciertas características que lo harían de fácil aplicación práctica. Entre ellas: no requiere de hidrólisis química del almidón de yuca; no requiere de enfriamientos por refrigeración; los requerimientos de asepsia son mínimos; el diseño del fermentador es sencillo y el sistema de recolección del producto final no requerirá de centrifugación.

Las raíces de yuca que se han cosechado son lavadas con agua para eliminar la tierra adherida, con el fin de evitar el efecto abrasivo que pueda tener sobre la maquinaria. Las raíces lavadas son ralladas mecánicamente y luego se colocan en el fermentador que contiene agua hasta la mitad de su capacidad. El medio acuoso se somete a una temperatura de 65 a 70°C, para producir la gelatinización del almidón y facilitar su utilización por el microorganismo.

Se agrega más agua al medio hasta llenar la capacidad total del fermentador. La adición de agua permite reducir la temperatura del medio hasta 45°C y diluir la concentración de carbohidratos totales aproximadamente a 4%. Una vez estabilizada la temperatura, se procede a reducir el pH del medio a 3.5 mediante la adición de una solución de ácido sulfúrico, la cual, además aporta parte del azufre requerido para el proceso. Después se adicionan urea como fuente de nitrógeno, y fosfato potásico como fuente de fósforo. Los elementos minerales adicionales que requiere el proceso son aportados por las raíces de yuca. (Pedroza, 1993).

El microorganismo seleccionado en la Universidad de Guelph, Canadá es una cepa mutante; *Aspergillus fumigatus*, que no produce esporas y por lo tanto el problema de la aspergilosis (invasión de esporas en las vías respiratorias), está prácticamente eliminado.

La biomasa final obtenida en el CIAT, tiene alrededor de 29% de proteínas en y la biomasa obtenida a nivel de laboratorio en la Universidad Guelph, solo tiene 22%. La eficiencia de conversión de yuca fresca o de su equivalente en materia seca en la biomasa final secada al sol es del orden de 17% cuando se expresa en términos de materia seca de las raíces de yuca. En cada una de las 10 fermentaciones realizadas se utilizaron, en promedio 4,3 Kg. de biomasa final secada al sol. El valor nutritivo de la biomasa secada al sol con ratas en crecimiento ha dado un PER ó relación de eficiencia proteínica (gramos de ganancia por peso/ gramo de proteína consumida) de 1.8, comparado con 2.5 para la caseína.

Condiciones de competencia de la yuca.

Si revisamos la variedad de aplicaciones de la yuca cabe preguntar ¿cuáles son las causas de su rápida introducción y empleo permanente en algunos sectores de la industria almidonera, mientras que, en otros no ha llegado a alcanzar un puesto importante?. La respuesta se encontrará en las propiedades particulares de este tipo de almidón. Aunque un estudio completo del comportamiento coloidal de la yuca queda fuera del objeto del presente trabajo, puede resumirse lo esencial de estas propiedades como sigue: el producto se gelatiniza fácilmente a ebullición con agua, y la solución obtenida después de enfriar permanece relativamente líquida: no pueden prepararse

con ella jaleas y budines. Además, las soluciones son relativamente estables, en el sentido de que no se separan fácilmente, como sucede con el almidón de maíz y el almidón de patata, es decir no presenta retrogradación.

Otros factores de menor importancia han influido también en la situación de la yuca en el mercado, en sentido negativo. Como se produce en su mayor parte en regiones en desarrollo con una situación económica inestable, no está disponible con la misma regularidad y previsión, por ejemplo que el almidón de maíz; se presenta en muchas calidades y grados que varían mucho, y su precio, especialmente en los últimos años, fluctúa considerablemente. (Perten, 1991).

A este respecto es posible distinguir tres campos en la industria consumidora del almidón, en cada uno de los cuales la yuca ocupa una posición fundamentalmente diferente:

a) Casos en los que es insustituible por otros almidones.

En la manufactura de gomas de rehumedecimiento, la yuca, por ahora no tiene competidores. Debe prestarse atención, sin embargo, a los continuos esfuerzos por adaptar otros almidones a las demandas especiales de estas industrias, para lo cual recurren a los medios químicos y a la selección de plantas amiláceas. Como ejemplo de un almidón parecido en muchos aspectos a la yuca, debe mencionarse el llamado maíz cereoso.

b) Casos en los que son preferibles otros almidones a pesar del costo.

Algunas de las características que se requieren de otros almidones pueden ser resultado de una elaboración ulterior del almidón, como la que efectúa, por ejemplo, la industria de la fécula de maíz. Pueden citarse como ejemplos los almidones fluidos, los clorados y otros especiales. Lo único que ofrece la yuca es un almidón crudo cuya calidad y características son muy variables.

c) Casos en que puede sustituirse la yuca por otros almidones.

En este caso, los únicos factores determinantes son el precio y las condiciones del mercado. La competencia de otras féculas es fuerte en este sector, en el que precisamente la tapioca ha perdido terreno.

Parece estar justificada la conclusión de que, durante muchos años se encontrarán mercados para la yuca de todas clases, pero la posibilidad de un aumento de su uso dependerá mucho de que mejoren las técnicas de elaboración y de que se encuentren métodos más eficaces de comercializar la harina de yuca (Kerr, 1982).

CAPÍTULO VII

CONTROL DE CALIDAD DE LOS PRODUCTOS DE YUCA

El control de calidad (CTC), puede definirse como un sistema eficaz para integrar los esfuerzos en materia de desarrollo de la calidad, mantenimiento de calidad realizado por todos y cada uno de los miembros en una organización, de modo que sea posible producir bienes y servicios a los niveles más económicos y que sean compatibles con la plena satisfacción de los clientes.

Es por ello que el control de calidad en una industria procesadora de yuca debe cumplir con los siguientes objetivos.

- a) Asegurarse de la buena calidad de las raíces de yuca y la calidad del agua utilizada en la elaboración de productos.
- b) Asegurarse que los reactivos químicos, que se utiliza en algunos de los procesos para la elaboración de harina de almidón de yuca sea de grado Q.P.
- c) Asegurarse de la buena calidad de los métodos, procedimientos, control estadístico de los procesos, mantenimiento preventivo de los equipos, de las normas y legislación sanitaria, de las buenas prácticas de manufactura, de los servicios brindados a producción, de la capacitación y seguridad en el trabajo, etc.
- d) Asegurar la calidad de almacenamiento, transporte, materiales de empaque y embalajes, distribución y comercialización de los productos, que garanticen la buena aceptación y satisfagan las necesidades del consumidor.

En el procesamiento de la yuca surgen naturalmente cuestiones relacionadas con la eficiencia y la producción; además, la determinación de la calidad es importante al vender el producto. Por lo cual son importantes los análisis cualitativos y cuantitativos de la composición de las materias primas y del producto terminado.

A las muestras se les analiza según: Methods of the Association of Official Agricultural Chemist., (A.O.A.C.), y de la Organización Internacional de la Normalización (I.S.O.), siendo las pruebas más importantes el contenido de almidón de las raíces y pulpa fresca y el análisis para la determinación del contenido de ácido cianhídrico. Una vez obtenida la harina y el almidón, son sometidos a un análisis general, el cual comprende las siguientes determinaciones:

- a) Tamaño de la malla.
- b) Apariencia en seco, color, olor.
- c) Limpieza (% de limpieza).
- d) Cantidad de fibra celulósica.
- e) Viscosidad de almidón cocido.
- f) Ceniza.
- g) Humedad.
- h) Nitrógeno.

(De Groot, 1987).

El mejor procedimiento práctico para hacer un análisis cuantitativo de las raíces de yuca y el agua utilizada en el procesamiento, es correr un proceso en pequeña escala y comparar la harina obtenida con una muestra normal, o analizarla por los

procedimiento que se indiquen más adelante. Ciertamente, para juzgar si el agua disponible reúne las condiciones adecuadas, este procedimiento en pequeña escala es la única prueba de valor práctico. (De Groot, 1987).

Además de esto, dado que el almidón es la sustancia que se quiere aislar, es necesario determinar el contenido de éste de las raíces frescas y en la pulpa, después del rallado y tamizado en húmedo, para determinar el efecto rallador.

Finalmente, y en relación con la importancia de la yuca como alimento, se explican varias maneras de determinar la presencia de ácido cianhídrico.

Ensayo de pequeña escala.

Se toma al azar una muestra de yuca de unos 10 Kg. por ejemplo y se lava a fondo para quitar la capa de corcho; a continuación, se trituran o rallan las raíces enteras o mondadas. Se lava la pulpa en un tamiz de tela metálica de bronce de 50 mallas. Se prepara la suspensión a una concentración de 3° Brix (aproximadamente 35g de fécula/L) y se deja que se sedimente durante 4 horas. Se decanta el líquido que queda en la parte superior y la fécula que se separa por un tamiz de 250 mallas se deja que se sedimente por segunda vez. Después de la decantación de la fécula se mezcla de nuevo con agua para formar una papilla de 10° Brix. Después de la decantación de la fécula se mezcla de nuevo con agua para formar una suspensión espesa (45° Brix) y se filtra en vacío por un embudo Büchner. La fécula húmeda se seca en una estufa, a ser posible con corriente de aire, comenzando a una temperatura de 50° C y

terminando a 60°C. Antes de proceder a su análisis se pasa la fécula seca por un tamiz de seda.

ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE ALMIDÓN DE RAÍCES FRESCAS Y DE PULPA.

Este análisis se efectúa mejor con pulpa secada en una estufa, empleándose para la determinación del contenido de humedad ó agua, una muestra de material de raíces frescas.

1. La determinación cuantitativa de almidón se basa en la hidrólisis de éste por ácido y determinación posterior de la glucosa formada. La muestra pesada que represente aproximadamente 2.5 g de materia seca, se muele y se agita con 250 ml. de agua durante una hora y luego se pasa el residuo insoluble a un matraz con ayuda de 250 ml. de agua. Se agregan 200 ml. de HCL 0.5 N, se pone a ebullición con reflujo, se enfría y luego se ajusta el pH a 5.0 con NaOH, y se filtra. Se determina el equivalente en glucosa en una parte alícuota por el método de Muson-Walker o cualquier otro método adecuado, tal como se describe, por ejemplo en *Methods of analysis of the Association of Official Agricultura chemists*. La cantidad de glucosa multiplicado por 0.93 se toma como igual a la cantidad de almidón que hay en la parte alícuota.
2. Es posible abreviar el análisis de las raíces frescas con las determinaciones de almidón. Este sistema es aplicable especialmente en aquellos casos en que la variedad de la yuca y las condiciones del cultivo pueden considerarse prácticamente constantes. Como resultado de una serie de análisis de las

raíces de cuatro variedades diferentes de yuca, cultivadas todas ellas en el mismo suelo y durante el mismo periodo, se han formulado las siguientes relaciones empíricas:

Para la raíz entera:

Porcentaje de almidón = % total de materia seca - 7.3 = 92.7 - % de agua.

Para la raíz mondada:

Porcentaje de almidón = % total de materia seca - 6.8 = 93.2 - % de agua.

(Ingram, 1985).

EFEECTO DE RALLADO.

La fracción de fécula contenida en las raíces, que queda libre mediante el rallado, puede calcularse directamente lavando una muestra pesada de la pulpa, tal como se obtiene en la ralladora de fábrica, en un tamiz de 250 mallas, recogiendo la fécula en un litro y pesándola después de secarse con cuidado. El porcentaje de fécula libre obtenido de esta manera, dividido entre el contenido total de fécula de la pulpa, da el efecto rallador (R).

Para el cálculo de R, se analiza la fécula de las raíces por medio de uno de los métodos descritos anteriormente y la fibra (celulosa). Se seca en una estufa una muestra de los desperdicios de pulpa que quedan del procesamiento de las raíces, se muelen y se analizan los mismos componentes. Como los desperdicios de pulpa están constituidos principalmente por agua, celulosa y fécula, hasta una determinación de la humedad y de la fibra para conocer, mediante sustracción, el contenido de la fécula.

Si se designa por S_r y S_w , respectivamente, el contenido de fécula las raíces y de los desperdicios de pulpa, y por F_r y F_v , el contenido respectivo de fibra, se ve que la fracción de fécula que queda unida a la fibra, ó sea que no han sido trituradas por la ralladora encerrada en las células que no han sido trituradas por la ralladora, será:

$$\frac{S_w / F_v}{S_r / F_r}$$

Y, por tanto, el efecto rallador es:

$$R = \left(\frac{S_w F_r}{S_r F_v} \right) \times 100\%$$

Análisis para la determinación del ácido cianhídrico.

ANÁLISIS CUALITATIVO (Prueba de Grignard).

Se prepara papel al picrato sódico, introduciendo tiras en una solución de ácido pícrico al 1% y, después de haberlas secado, se sumergen en otra solución de carbonato sódico al 10 %, tras lo cual se ponen a secar de nuevo. Estas tiras se conservan en un frasco cerrado herméticamente. Se corta en pedazos muy pequeños una pequeña cantidad de las raíces que se van a analizar y se ponen en un tubo de ensayo, en el que se introduce una tira de papel al picrato sódico, teniendo cuidado de que no se ponga en contacto con la pulpa de la raíz, se añaden unas cuantas gotas de cloroformo y se tapa el tubo herméticamente. Si las raíces despiden ácido cianhídrico.

El papel al picrato sódico adquiere gradualmente un color naranja. Este análisis es muy delicado, y la rapidez del cambio de color depende de la cantidad de ácido cianhídrico libre presente. (Ingram, 1987).

DETERMINACION CUANTITATIVA (método de la titulación alcalina).

Se colocan 20 g de raíz triturada en un matraz de destilación y se adicionan 200 ml de agua. Se deja reposar de 2 a 4 horas para que quede libre todo el ácido cianhídrico combinado, manteniendo entre tanto el matraz conectado con un destilador. Se destila con vapor y se recogen de 150 a 200 ml de destilado en una solución de 0.5 g de hidróxido sódico en 20 ml de agua. A 100ml del líquido destilado (es preferible diluir a un volumen de 250ml. y titular una parte alícuota de 100 ml adicionar 8ml de una solución de yoduro de potasio 0.02 N. (1 ml de solución de nitrato de plata corresponde a 1.08 mg. de ácido cianhídrico), empleando una microbureta. El punto final está indicado por una turbidez ligera, pero permanente, que se observa con facilidad particularmente contra un fondo negro.

Determinación de la calidad de la harina y el almidón.

Con un producto como el almidón, que se utiliza como materia prima en muy diversas ramas de la industria, el valor de una determinada calidad de la yuca sólo puede definirse con relación al uso final del producto. En todas las industrias que utilicen almidón, como materia prima, será sometido a determinados análisis para comprobar si sirve para el fin a que se destina. En algunos casos, bastará un simple análisis de pureza, por ejemplo, cuando se usa como apresto; en otros serán necesarias determinaciones más complejas. El valor del producto en cuestión varía de

un caso a otro el precio, se fija de acuerdo con el resultado de estas investigaciones. En términos generales, puede decirse que, cuanto más cuidadosa y limpia sea la manufactura de la harina de yuca, tanto más elevada será su calidad y por consiguiente su valor para casi todas las aplicaciones.

El análisis de la harina de yuca consiste en una serie de pruebas seleccionadas que, en conjunto, ofrecen la mejor manera de apreciar la utilidad del producto. Este análisis comprende determinaciones químicas tales como son las del agua, pulpa y ceniza, así como de análisis físico - químicos para determinar la viscosidad y acidez. Basándose en los resultados de estas investigaciones, es normal designar la calidad según el grado, es decir, una cifra que expresa la calidad en general o más específicamente, con relación a determinadas propiedades. Así pues con las letras A, B y C se designan en muchos casos las calidades primera, media y baja, estando circunscrita cada clasificación a límites especificados de las propiedades investigadas.

Los adelantos técnicos conseguidos en los países donde están concentradas casi todas las industrias de los productos finales, particularmente en los Estados Unidos, han dado por resultado unas exigencias mucho más rigurosas respecto a ciertas propiedades de la harina. Las especificaciones existentes dejaron de ser suficientes para satisfacer en forma conveniente las características más importantes de las diversas aplicaciones, el Instituto de la Tapioca de América (TIA), en estrecha cooperación con la mayoría de las ramas de la industria utilizadora de los productos finales, formuló en 1993 un nuevo sistema de especificaciones y clasificación.

Los ensayos que determinan la calidad del almidón de yuca abarcan una serie de pruebas diversas, tales como tamaño de la malla, color, olor, limpieza, contenido de la pulpa o fibra, así como propiedades del almidón cocido. Todas estas pruebas ayudan a definir el grado y, por tanto, el valor comercial del producto. Estas características de calidad se indican a continuación, con el fin de dejar más claro el significado de las propiedades implicadas. Se indican también otros métodos para determinar varias de estas propiedades que algunas veces sirven para obtener una valiosa información complementaria sobre la calidad de la harina. (De Groot, 1987).

Tamaño de la malla.

Esta prueba sirve para determinar realmente la eficacia del tamizado. Sin embargo, la pulpa fina, que proviene del cernido en los desintegradores, pasará por tamices. Al juzgar la pureza de una harina, ni este ensayo ni la determinación de la pulpa, según el sistema del TIA, son lo suficientemente precisos; en cierto modo, se complementan con la prueba de la limpieza, pero resulta conveniente hacer otra determinación del contenido de pulpa por hidrólisis.

Apariencia en seco.

En este ensayo, el grado de la brillantez o blancura de la harina se compara visualmente con el de otra tomada como patrón, la cual es una harina de primera calidad producida en ciertas fábricas de primera categoría. El resultado se expresa de forma cualitativa. Además, la dificultad de conseguir harina de blancura uniforme y que se conserve sin estropearse durante un tiempo suficientemente largo es un notable inconveniente.

Sin embargo, se puede determinar cuantitativamente la blancura de la harina por espectrofotometría, mediante la comparación de su grado de reflectividad respecto a la de un patrón de blancura suficientemente duradera, por ejemplo, el sulfato de bario. Un hecho notable observado en experimentos comparativos, en los que las mismas harinas se juzgaron por el método visual directo y por el método objetivo de la reflectividad, es 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. (Holleman & De Vos, 1991)

Limpieza.

Esto es una prueba bastante complicada para determinar las impurezas con objeto de calcular la cantidad total de partículas extrañas que hay en una muestra. Se adicionan 5 ml. de agua destilada a 1 g de almidón seco, agitando la mezcla y se adiciona 5ml de solución 0.7 N de hidróxido de sodio, la mezcla uniforme se calienta y una vez gelatinizada se extiende para determinar las impurezas. El grado de blancura y claridad dependen de la cantidad de pigmento, suciedad y proteínas presentes en el almidón. (Holleman & De Vos, 1991).

Especificaciones

Calidad

A

B

Color

Normal

Casi normal

Impurezas,

partículas extrañas.

Ninguna

pocas

Pulpa.

La cantidad de pulpa, o fibra, que se encuentra en el producto acabado es de la mayor importancia para decidir la utilidad de la harina en las diversas aplicaciones. La presencia de celulosa insoluble representa un grave inconveniente en casi todas las industrias que necesitan soluciones de almidón gelatinizado. Pueden exceptuarse la manufactura de cartón corrugado y la de contrachapado, en que la fibra tiene cierta utilidad como ligazón. La cantidad real de fibra celulosa que contiene harina, junto con la de materias extrañas insolubles, puede determinarse pesando el residuo que queda tras una hidrólisis ácida moderada, de la muestra. Se hierven durante 1 hora, de 2 a 3 g de harina en 10 ml de ácido clorhídrico al 0.4%. Se filtra el líquido en un crisol tarado filtrante, provisto de papel filtrante, o en un filtro de vidrio de Jena G 3. Después de lavarlo con agua caliente se seca el crisol a 105-110°C, a peso constante; el aumento en peso del crisol, multiplicado por 100 dividido entre el peso de la muestra analizada, es el porcentaje de fibras e impurezas. Por estos dos métodos da resultados análogos hasta cierto punto, es decir, que 0.6% de fibra, por el método de la hidrólisis, corresponde a 10ml. de pulpa por 50 g de harina con el tamizado húmedo.

Puede estimarse aproximadamente el contenido de pulpa mediante el característico chasquido de la harina al pellizcar entre los dedos la muestra muy apretada contenida en un saco. Este chasquido es fuerte, cuando se trata de harinas puras, y deja de percibirse cuando el contenido de pulpa excede de una cierta proporción. (Rao, 1992).

Viscosidad.

El almidón crudo, suspendido en agua, forma una papilla más o menos viscosa, aunque la viscosidad de estas suspensiones puede tener cierta importancia técnica en el caso de algunas aplicaciones, generalmente se emplea el término "viscosidad de la harina" para designar la de una solución de harina después de la gelatinización, porque en esta forma es como se emplea en la mayor parte de las industrias.

Para determinar esta propiedad, se emplean en la práctica muchos métodos que varían en el instrumento utilizado para la medición del ritmo de flujo de las soluciones. La base de las especificaciones es de carácter más bien subjetivo. A continuación se mencionan algunas determinaciones cuantitativas que se emplean frecuentemente en la industria del almidón, particularmente el de yuca.

Viscosidad de la pasta caliente.

Para determinar la viscosidad del almidón, se efectúa la gelatinización calentando a un ritmo determinado una papilla que contenga una cantidad fija de harina, generalmente 6 g, diluida en 300 ml de agua destilada, y agitando constantemente. La temperatura debe llegar a los 100°C en 6-7 minutos. Se vierte entonces la solución en el recipiente interior del viscosímetro y se mantiene a ebullición el agua del recipiente anterior durante todo el proceso de la determinación. Se inicia la salida de la solución al matraz cuando la temperatura llegue a los 94 °C. El tiempo necesario para que fluyan 200 ml, u otra cantidad dada de la solución, dividido entre el tiempo que toma una cantidad igual de agua a 20° C, se llama viscosidad de la pasta caliente en grados Engler. (Hawlewiijn, 1984).

Viscosímetros registradores.

La mayoría de los modelos están basados en el mismo principio y algunos de ellos existen en el comercio. Sobre un eje acoplado a un resistente electromotor, se fija una cubeta de acero inoxidable a la que se imprime un movimiento lento de rotación a velocidad constante. El instrumento medidor, que tiene forma de varilla con unos brazos laterales, se fija a un vástago en línea con el eje de la cubeta, y se suspende en el líquido que se ensaya. El calentamiento se logra por radiación de calor generado en los serpentines colocados en la caja que aloja la cubeta.

Para medir la viscosidad, se llena la cubeta con una papilla de composición conocida a la temperatura ambiente (25°C) y se ponen en marcha al mismo tiempo el aparato que produce la rotación y el calentador. Generalmente el ritmo de calentamiento se fija a 1.5°C de aumento por minuto. La resistencia que el contenido de la cubeta ofrece al medidor de varilla se compensa mediante un muelle calibrado o un contrapeso, y la desviación de la varilla de su posición normal se trasmite a una palanca que lleva un lápiz, el cual registra la resistencia de salida sobre un papel gráfico fijado en un tambor giratorio. Al llegar a los 90°C, el calentador automáticamente mantiene una temperatura constante, mediante serpentines enfriadores alimentados con agua. Se se puede registrar la viscosidad ó temperaturas descendentes.

La viscosidad obtenida es más o menos característica de la fécula analizada; en general, la viscosidad alcanza un valor máximo y después disminuye lentamente. La graduación se hace basándose en la altura de dicho punto máximo y en otros valores de la curva.

Como estos valores dependen de los detalles de construcción del aparato, la calibración de éste debe hacerse con harinas normalizadas de calidad conocida.

Ceniza.

La cantidad de elementos inorgánicos presentes, medidos por el contenido de ceniza, puede considerarse como signo del grado de limpieza de la elaboración y, juntamente con el coeficiente de acidez, sirve para formarse una idea de la cantidad de iones metálicos combinados en la fécula cruda. También el color de la ceniza es importante, ya que, si tiene un color normal denota la presencia de elementos perjudiciales, por ejemplo el marrón rojizo se debe al hierro. Se colocan 5 g de harina en un crisol, que se calentó, enfrió y pesó previamente. Se introduce la muestra en el horno a una temperatura de 500°C, hasta obtener una ceniza de color gris claro. Se enfría la muestra en un desecador y se pesa. La especificación es de 0.15% máximo.

Humedad.

Aunque la determinación por el método de la estufa es sencilla en su ejecución, exige efectuar muchas pesadas y, por otra parte, es un procedimiento bastante lento. Además tiende a dar resultados mediocres en el caso de que la humedad atmosférica del ambiente sea elevada, como suele suceder en las regiones tropicales.

Un procedimiento más rápido, que no presenta ninguno de estos inconvenientes, consiste en hervir una muestra con xileno (punto de ebullición 135°C) y recoger en un tubo graduado el agua que se separa del xileno en forma de vapor, una vez que éste se ha condensado.

Otro método para determinación de humedad es el ya bien conocido método Karl Fischer, el cual se basa en la determinación de humedad a través de una titulación de la muestra, que debe efectuarse en un disolvente anhidro (normalmente piridina metanol), con un reactivo constituido por yodo y dióxido de azufre (anhidrido sulfuroso): la reacción redox correspondiente puede llevarse a cabo sólo en presencia de agua. El punto de equivalencia se determina por medio de instrumentos, particularmente con el método amperiométrico. La humedad máxima del producto terminado es de 14%. (De Groot, 1987).

Acidez.

Esta prueba ha despertado gran interés entre los fabricantes de dextrina de yuca, ya que el coeficiente de acidez es una medida de la capacidad de la harina para fijar el ácido. Como casi todas las dextrinas se preparan adicionando ácido, es natural que este factor tenga una importancia primordial en la conversión de fécula en dextrina. Se ha comprobado que para lograr una fácil conversión a dextrina es preciso que el valor del coeficiente de acidez esté entre 2.0 y 2.5 mg/100 expresado como ácido clorhídrico.

Además de su importancia como punto de partida para la determinación del coeficiente de acidez, el pH inicial sirve de indicador de la presencia de mohos u otras impurezas en la harina, correspondiendo los valores bajos de pH a un deterioro progresivo.

A menudo, se determina la cantidad de ácido presente titulando separadamente una muestra suspendida en alcohol, con soluciones alcalinas diluidas. (0.1 N de hidróxido sódico). Es necesario utilizar fenoftaleína como indicador de la neutralización. (De Groot, 1987).

Nitrógeno.

Las sustancias nitrogenadas se determinan usualmente por el método de Kjeldahl. Una muestra de unos 5g se digiere en un matraz Kjeldahl a ebullición con 25 ml de ácido sulfúrico concentrado y unos 0.2 g de sulfato de cobre como catalizador. La ebullición se continúa durante 30 minutos después de que la mezcla de reacción se haya puesto clara. El matraz se enfría, se diluye el contenido con 200 ml de agua y se adicionan unos trozos de cinc granulado y 25 ml. de solución de hidróxido de sodio al 45%, resbalando por la pared del matraz que luego se conecta a un condensador. La salida del condensador debe penetrar en un matraz Erlenmeyer que contiene una cantidad medida de solución de ácido titulada. El matraz se agita suavemente para mezclar el contenido, y se aplica calor para destilar el amoníaco del matraz de reacción y recogerlo en la solución ácida. (Rao, 1992).

El ácido en exceso que queda en el colector se titula con solución valorada de hidróxido de sodio empleando rojo de metilo como indicador. Después de una determinación del amoníaco destilado y de calcular los resultados como nitrógeno, se suele dar cuenta de los valores como proteína por ciento, multiplicando el porcentaje de nitrógeno por el factor 6.25 (Rao, 1992)

CAPÍTULO VIII

FUTURO Y DESARROLLO DE LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LA YUCA.

Hay que reconocer que, particularmente en los países en que todavía no están desarrolladas las ciencias agrícolas, para hacer el mejor uso de la yuca en el consumo nacional y para la exportación es necesario contar con un plan de fomento que sirva constantemente de orientación. De la ejecución de tal proyecto se puede encargar un organismo oficial ó privado asesorado y en algunos casos inspeccionada por el gobierno.

Producción.

En muchos países productores, la industria de la yuca presenta desventajas, entre las que figuran el suministro insuficiente e inconsistente de raíces a las fábricas, además de su elevado costo. Estos países deben fomentar la investigación con vistas a conseguir el rendimiento máximo de raíces por hectárea y el contenido máximo de almidón en las mismas. Deben realizar experimentos en varias regiones para el mejoramiento de las prácticas agrícolas y la selección de nuevas variedades que den los mejores rendimientos y sean idóneas para las condiciones locales.

El primer contacto con agricultores y comerciantes debe establecerse por medio de demostraciones prácticas sobre el terreno en el plano más humilde de la producción de la aldea. (Phillips, 1992).

Elaboracion y mercados.

A continuacion habra que despertar interes en el proyecto mediante concursos organizados por las autoridades o comerciantes locales, en los que se incentive a quienes muestren mas interes en el desarrollo y comercializacion de productos derivados de la yuca. El momento mas oportuno para iniciar tales concursos seria durante uno o varios dias festivos y de mercado que se celebran en la region productora de yuca; los concursos podrian durar algunos meses, admitiendo a participar en ellos a personas de distintas regiones productoras de yuca.

Segun los estudios de mercado y los resultados de encuestas el siguiente paso podria ser la construccion de pequenas unidades cooperativas, en lugares preparados para esta actividad, en las que se contaria con maquinaria y equipo moderno, para obtener productos de mejor calidad. Puede establecerse una planta piloto en cada region productora de yuca y que sean centros para investigacion y desarrollo de la industria, para demostraciones de equipos modernos de procesamiento de la yuca y para la formacion y capacitacion de personal.

Se requeririan instructores e inspectores capacitados, con residencia cercana a la zona productora; las funciones del inspector ó supervisor requieren un perfil especializado en la fabricacion de productos agricolas, con buena preparacion general y experiencia, y con autoridad administrativa.

Como la yuca se cultiva, por lo general, en las zonas rurales y se elabora en fábricas pequenas, una parte importante en las obligaciones de los funcionarios consistirá en fomentar y orientar las cooperativas de agricultores en las zonas

productoras, con objeto de emprender la elaboración en forma cooperativa, así como la clasificación y comercialización. En una fase más avanzada, tales sociedades cooperativas deberán estar en condiciones de ocuparse de la exportación de productos de yuca.

Una vez iniciado el programa, deberá considerarse la creación de un comité sobre la yuca, formado por funcionarios del gobierno, representantes de las cooperativas agrícolas y propietarios de fábricas, así como por comerciantes. Este comité deberá reunirse periódicamente para garantizar la continuidad de estas útiles relaciones y prestar asesoramiento al gobierno. Pueden ocuparse de problemas de producción y comercialización de productos de yuca, abrir nuevos mercados y regular los precios de varios productos, proporcionar asistencia técnica y financiera a elaboradores y comerciante, mantener normas de calidad, fomentar la investigación y el desarrollo de nuevos productos. etc. (Phillips, 1992).

Futuro de la industria de la yuca.

Los productos derivados del almidón se utilizan en casi todas las industrias y, como su aplicación es tan vasta la industria del almidón es vulnerable al desplazamiento por productos sintéticos especializados.

En las industrias textil, de fundición y revestimiento del papel, los polímeros sintéticos presentan una seria amenaza a los productos de almidón, pero siguen siendo costosos. Por lo tanto, se necesita realizar muchos trabajos para obtener productos que combinen el almidón y los polímeros sintéticos de modo que pueda conseguirse el

mejor uso de ambos materiales. El futuro de la utilización del almidón en dichas industrias puede ser brillante si los esfuerzos técnicos se orientan a usar los nuevos materiales sintéticos, en vez de competir con ellos. Por otra parte no hay duda de que el futuro de los productos a base de almidón en la industria alimentaria es muy prometedor.

Los nuevos y mejorados métodos de producción de jarabe de glucosa y de dextrosa por enzimas y por conversión directa partiendo de materias primas y compiten fuertemente con la sacarosa. Además, se ha señalado que el consumo de sacarosa produce algunos efectos perjudiciales para la salud, mientras que no es el caso del almidón, sus derivados y la glucosa. La utilización de jarabe de glucosa y dextrosa está aumentando rápidamente en la industria alimentaria y en consecuencia su producción a partir de varios almidones aumenta constantemente. (Whistler & Pashall, 1991).

En la actualidad, el maíz amarillo es la materia prima más importante utilizada para la producción de almidón. Se han creado nuevos maíces cereos con mayor contenido de amilosa y propiedades diferentes del maíz normal. La posición comercial del almidón de yuca depende de la posibilidad de la industria, especialmente de los Estados Unidos, de desarrollar sustitutos nacionales, tales como almidones satisfactorios de las variedades céreas de granos como maíz y sorgo y de las raíces y tubérculos, tales como camote y papa, a menor costo que el de los almidones de yuca de importación.

El aumento de población en los países productores de yuca continuará proporcionando un mercado para raíces de yuca y productos elaborados de yuca en el mismo país. Muchos países se están convirtiendo en productores y el mercado internacional se ha hecho más competido para muchos productos. (Schellema, 1993).

Por esta razón, parece que es improbable que los mercados europeos lleguen a atraer un gran volumen de exportaciones. Sin embargo, la yuca podría volverse mucho más importante en su contribución a la economía nacional y su apoyo a la industria alimentaria, tanto para el consumo local como para la exportación, si el almidón de yuca compitiera con otros almidones mejorando la calidad de sus productos y rebajando los costos de producción. (Schellema, 1993).

Sustituto parcial en la fabricación de pan, harinas preparadas para hot-cakes, frituras.

El consumo de pan está aumentando continuamente en muchos países en desarrollo. Estos países dependen en su mayor parte de trigo o de harina de trigo de importación, mientras que cultivan varios productos básicos, tales como los tubérculos amiláceos, como la yuca, y otros cereales distintos del trigo. Experimentos recientes han demostrado la posibilidad de sustituir parcialmente la harina de trigo en la fabricación de pan por otras harinas, como la de soya y de yuca.

También la harina de yuca podría sustituir parcialmente a la harina de trigo en la elaboración de harinas preparadas para hot cakes, buñuelos y tortillas. (Perten, 1991).

En el Sureste de México se consume la yuca en rodajas delgadas y fritas en aceite y hay una empresa que se dedica a la fabricación de botanas, ó frituras de plantas propias de la región tales como, plátano, yuca, etc. Se conocen estos productos de yuca como "chips cassava", se comercializan en la región y se exportan a Miami y a las Antillas. (Empresa: Naturas Mexicanas S.A. de C.V. Tabasco)

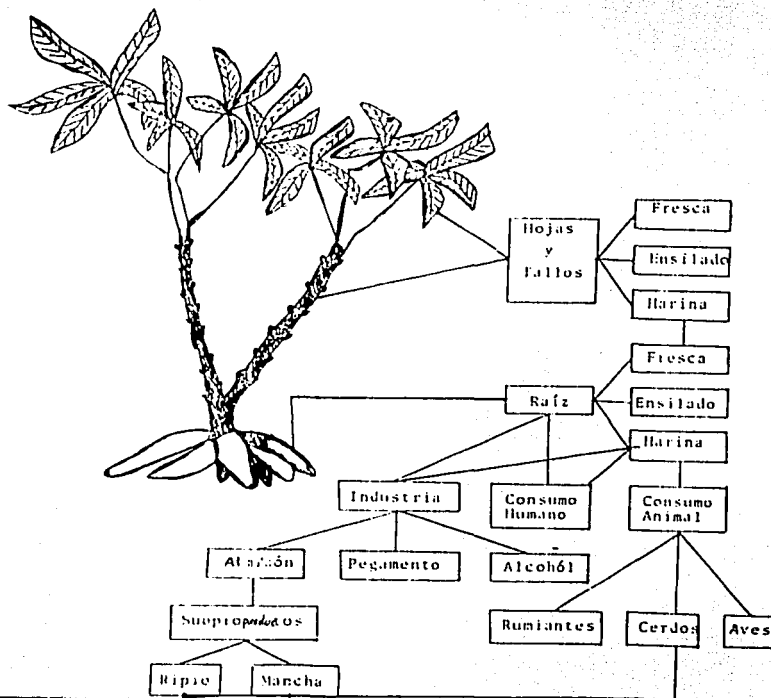
Parece bastante lógico que la utilización de la harina de yuca aumentará considerablemente en el futuro en la fabricación de estos productos en la mayoría de los países en vías de desarrollo.

Forrajes (piensos).

A medida que se va mejorando el nivel de vida, aumenta también la demanda de carne y productos lácteos, especialmente en lo que se refiere a productos de calidad. La zootecnia está progresando rápidamente, y la proyección de la producción de carne está aumentando significativamente en muchos países.

El empleo de piensos compuestos bien equilibrados ha demostrado ser el modo más eficaz para satisfacer el déficit en los piensos naturales cultivados en el país, y de aumentar la eficacia en la cría de vacas lecheras, bovinos de carne, pollitos para asar, gallinas ponedoras y cerdos. Muchos experimentos de alimentación han demostrado que la yuca proporciona un carbohidrato de buena calidad que puede sustituir a la cebada o al maíz. Sin embargo la yuca tiene que complementarse con otros piensos que sean ricos en proteínas y vitaminas. (Sasso, 1992).

El consumo de productos de yuca, tales como raíces secas, yuca en trozos y en gránulos ó pellet por las industrias de piensos compuestos, se espera que aumente considerablemente en el futuro y, por consiguiente, es de vital importancia que los países productores fomenten el mejoramiento de las prácticas de elaboración y el control de calidad. Sin embargo, se espera que se establezcan mercados más atractivos localmente en los países productores para el desarrollo de las industrias locales de mejoramiento ganadero y piensos. (Acosta, 1991). Ver esquema de alternativas del uso de la yuca.



CAPÍTULO IX

C O N C L U S I O N E S

Este trabajo muestra un panorama general sobre la yuca: su cultivo, producción, su utilización en la industria alimentaria (humana y animal), y no alimentaria, control de calidad, futuro y desarrollo de esta industria. Este último punto es el que se considera más importante, porque es contradictorio el hecho de que siendo la yuca uno de los diez principales cultivos alimenticios del mundo, los investigadores científicos, en términos generales le han dado poca importancia a este cultivo. El Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) ha elaborado varios artículos sobre la yuca, de estos artículos son pocos los relacionados al uso de la yuca en la alimentación humana y la mayor parte de estos hacen referencia al uso de la raíz como fuente energética, siendo muy pocos los documentos que consideran la utilización de las hojas y los tallos como fuente básica de proteína. (Zetina, 1989. CIAT).

En el consumo humano la yuca es utilizada en diferentes formas: Frescas, fritas, cocidas, fermentadas, y en forma de harina para la panificación. A partir de la hoja se ha obtenido un extracto de proteína cruda que contiene aproximadamente 70% de proteína, la cual se piensa destinar para consumo humano. (Van Veen, 1988).

La composición química de la hoja de yuca se observa en el cuadro 6. (Darjanto, 1993).

CUADRO 6. COMPOSICION QUÍMICA DE LA HOJA DE YUCA.

COMPONENTES QUÍMICOS.	FRESCA %	SECA %
Humedad	74.7	
Proteína cruda	7.3	28.8
Extracto etéreo	3.4	13.5
Fibra cruda	1.2	4.6
Ceniza	2.1	8.3
Extracto de nitrógeno	11.4	44.8
Ca (mg/100g).....	382.2	47.8
P (mg/100g).....	1295.5	188.7

El uso más importante de la yuca es servir como alimento para el hombre, ya que constituye una de las principales fuentes energéticas para 400 ó 600 millones de personas; en el cuadro 7 se presenta el consumo de yuca en 14 países en donde se emplea como alimento básico.

**CONSUMO HUMANO DE YUCA EN 14 PAÍSES DURANTE EL PERÍODO
1992 - 1993.**

PAÍS	POBLACION HUMANA (MILLONES)	YUCA COMO % DE INGESTION CALORICA TOTAL	CALORÍAS- DÍA/PERSO- NA PROVE- NIENTES DE LA YUCA.	CONSUMO ANUAL PER CÁPITA. Kg
CONGO	1.48	54.8	1.184	490
ZAIRE	27.72	58.5	1.253	455
GARON	1.203	47.0	1.027	380
MOZAMBIQUE	12.85	42.6	985	340
ANGOLA	7.50	34.5	659	324
LIBERIA	1.89	26.2	600	295
LOGO	2.64	26.5	590	248
BEMIM(DAHOONEY)	3.78	20.1	438	223
PARAGUAY	4.12	19.7	540	180
GHANA	11.704	18.2	380	165
BRASIL	152.50	10.3	274	148
NIGERIA	81.33	14.1	306	135
INDONESIA	169.85	15.3	269	118
MEXICO	88.21	5.1	46.82	65*

(Fuente: Hojas de equilibrio alimentario de la FAO 1992-1993.)

*En México en las poblaciones donde hay mayor uso para consumo humano de yuca son los estados de: Tabasco, Chiapas, Veracruz, Yucatán, Quintana Roo, Morelos, Oaxaca, Colima, Nayarit, Campeche, Puebla y Guerrero, que comprenden al 35.% de la población total el País. (Acosta, 1991).

Esta información es representativa para algunos países grandes en donde la yuca forma parte primordial de la dieta en algunas regiones, pero no en otras.

Se puede suministrar a los animales en forma fresca o deshidratada, en forma de harina o pellets.

Unicamente en la última década, ha adquirido la yuca cierta importancia como componente de los alimentos mixtos para animales, en los lugares donde se emplea como sustituto de los cereales. (Howie, 1990).

Esta situación tiene un origen en las tarifas arancelarias tan favorables con que la yuca entra en el Mercado Común Europeo, en comparación con el trigo, el maíz y otros componentes energéticos de los alimentos mixtos para animales.

La yuca puede ocupar un lugar importante en el programa de diversificación agrícola, a nivel nacional. Sin embargo, se necesita mejorar las prácticas agrícolas y seleccionar nuevas variedades.

La industria actual de los productos de yuca debe mejorarse e introducirse nuevo equipo para la modernización de la industria:

Es necesario establecer un organismo industrial para fomentar la producción y comercialización de la harina de yuca y sus productos

Es importante la introducción y el uso de almidón de yuca con calidad en otras industrias, como sucede con otros almidones.

Si en un futuro cercano fuera posible cultivar alrededor de 120,000 hectáreas de yuca en México, el país podría sustituir aproximadamente la mitad de sus importaciones de granos, lo cual favorecería la balanza de pagos creando nuevas fuentes de empleo para el país y fomentando la utilización de las tierras tropicales que actualmente son sub-utilizadas.

Un análisis de la literatura revisada indica el enorme potencial que representa la yuca para la región del Sureste Mexicano. Sin embargo la disponibilidad limitada de energía, hacen que nuestros gobiernos no consideren y apoyen fuertemente un cultivo hasta ahora marginado a fincas y fábricas pequeñas, con un bajo nivel tecnológico. (Zetina, 1989. INIA).

En base a todas estas consideraciones, fue necesario revisar recopilar y evaluar una serie de experiencias y resultados obtenidos por diversos investigadores en diferentes países, sobre algunos aspectos nutricionales, de cultivo, y de industrialización de la yuca.

La intención de este trabajo es mostrar una visión amplia y general sobre el uso y alternativas para la industrialización de la yuca, por lo que sería conveniente que en trabajos posteriores tanto de experimentación como de investigación monográfica se estudiaran específicamente aspectos de nutrición, factibilidad, formulación y comportamiento de almidón y harina de yuca en la industria alimentaria como sucedáneo de otros almidones.

APÉNDICES.

1.- NORMAS PARA LA HARINA DE YUCA.

1. Definiciones:

- a) "Harina gruesa de yuca" (manioc meal) significa el producto derivado de la molienda de la raíz de la planta de yuca (*Manihot esculenta Crantz* pero sin incluir harina fina de yuca.).
- b) "Fibra" significa la parte de La raíz de yuca.
- c) "materia extraña" significa sustancias que no son harina gruesa de yuca, fibra, arena, ni humedad.

2. la harina gruesa de yuca debe dividirse en dos calidades, siendo las normas para la harina gruesa de yuca de cada calidad las siguientes:

- a) Calidad especial: Una harina soluble con un contenido de carbohidrato no menor de 72% en peso y
 - Arena, no más de 3% en peso:
 - Fibra, no más de 4% en peso:
 - Humedad, no más de 12% en peso.

- b) Primera calidad: Una harina soluble con contenido de carbohidratos no menor de 70% en peso y
 - Arena, no más de 4% en peso;
 - Fibra, no más de 5% en peso;

- Humedad, no más de 14% en peso.
 - 3. Ambas calidades de harina gruesa de yuca habrán de tener color claro, no tener materias extrañas mezcladas ni poseer ningún olor anormal.
 - 4. En el caso de diferencias o disputas en cuanto a color, se considerará que las últimas muestras de las Goods Standards Office deberán tomarse como norma.
 - 5. En el caso de venta de harina gruesa de yuca de acuerdo con una muestra las normas que rijan no deberán ser menores que la de la muestra aceptada por el comprador y aprobada por la Goods Standards Office.
 - 6. Los materiales de embalaje deben ser costales de nylon
- (Cours, 1988).

2.- ESPECIFICACIONES PARA EL ALMIDÓN.

1.- Aspecto y uniformidad: Se examinarán muestras de aproximadamente 10 g. Tomadas de cada costal, bajo una placa de vidrio y se compara el color y las manchas. El color debe ser uniforme, blanco y libre de pigmentaciones. Se considera que el lote no es uniforme cuando más del 10% de las muestras son más oscuras ó tienen más manchas que el resto.

2.- Tamaño de malla: debe pasar el 99% de los gránulos de almidón a través de un tamiz de 100 mallas, ó el 95% a través de un tamiz de 140 mallas.

3.- Olor: la harina cocida debe tener un olor fresco, exento de todo olor a rancio ó mohoso.

4.- Humedad: El contenido de humedad debe estar entre 10-13%. Un contenido de humedad por debajo del 10% indica condiciones de desecación y un posible riesgo de conato de incendio durante su almacenamiento. Más del 13% indica riesgo de contaminación por mohos.

5.- Contenido de cenizas: no mayor a 0.4%.

6.- Contenido de proteínas: no mayor de 0.4%.

7.- pH entre 4.5-5.5.

8.- Viscosidad: debe ser apropiada para preparar una papilla de harina fría y un engrudo de almidón cocido. (Cherriex, 1985).

3.- LISTA DE EQUIPOS DE PROCESOS PARA UNA FÁBRICA DE ALMIDÓN DE YUCA.

(Producción de 72 toneladas diarias). (Bank & Cook, 1992).

- Para limpieza de raíces frescas.

5 Transportadores de banda con motores de engranaje adecuados y soportes para transporte de las raíces.

2 Lavadores de raíces rotatorios con motor de engranaje.

2 Trituradores de raíces con motor para cortar las raíces lavadas.

2 Pre-ralladores con motor.

2 Bombas con rotor y motor de acero inoxidable

- Para extracción de almidón.

5 Juegos de extractores con tamices y motores o una serie de tamices DSM para la separación de almidón de las fibras.

2 Transportadores de hélice con motores de engranaje para meter rallado.

6 Bombas con rotor de acero inoxidable y motor.

- Para purificación de almidón.

5 Separadores centrífugos o separadores de canal continuos con motores o Don Cloves.

5 Agitadores de acero inoxidable con motores de engranaje para la agitación de la lechada de almidón en depósitos.

5 Bombas con rotores de acero inoxidable y motores.

- Para deshidratación y secado de almidón.

2 Filtros de vacío rotatorio con bomba de vacío y motores ó centrifugas de cesta.

2 Secadores completos de pulpa con calentamiento por vapor de agua. Sistema de cocción neumática, ventilación, aislamiento, soporte y motores.

4 Transportadores de hélice con motores de engranaje.

2 Elevadores de tipo de cubo con motores de engranaje.

2 Máquinas de mezclado con tornillos sinfin de mezclado cónico y motor de engranaje

2 Tamizadores y motores

3 Hélices de llenado de sacos con dos encajes de llenado de sacos provistos de motores.

- Para suministro de agua y combustible.

Si la fábrica se localiza en una zona urbana, deberá contar con una red propia de abastecimiento de agua potable

Si se localiza en una zona rural, como es común para estos tipos de fábricas, deberá de disponer de:

2 pozos artesianos

2 bombas para agua de pozo.

Las tuberías dentro de la fábrica incluyen: válvulas, accesorios, ductos y líneas para condensados de vapor.

- Equipo para manipulación de materiales.

2 tanques de almacenamiento para aceite combustible

2 básculas de plataforma para raíces y almidón.

4 montacargas eléctricos y carretillas de mano.

- Otros costos

Caldera empaquetada para suministrar vapor para secar almidón.

Generación de energía (unidad fija)

Entre los materiales eléctricos figuran conmutadores, distribución de energía, transformador, etc.

Líneas exteriores para agua, energía y alcantarillado

Equipo de taller de mantenimiento

Equipo de laboratorio de control de calidad.

Camiones para transporte de raíces y almidón. (Bank & Cook, 1992).

CAPÍTULO X
BIBLIOGRAFIA

1. **ACOSTA, E. J. 1991.** Estudios preliminares sobre el cultivo de la yuca en el estado de Yucatán. Tesis Universidad Autónoma Agraria, Coahuila, México.
2. **ACHERRY, R. W. 1992.** Plants for man. Allen and Unwin. Gran Bretaña.
3. **AKINRELE, I. A. 1983.** Further studies on the fermentation of casava lagos, Federal Ministry of Commerce and Industry, Federal Institute of Industrial Reseach. Research Report No. 20. Filipinas.
4. **ASPRILLA, J. 1988.** Curso de producción de yuca Tomo I y II (páginas.1-659).CIAT. Colombia.
5. **ASPRILLA, J. 1992.** Descripción Agro – económica del proceso de producción de yuca en Colombia. CIAT. Colombia.
6. **BANK & COOK. 1992.** Estimates for a factory. Institute of Industrial Research Technical. Filipinas.
7. **BATES, W. H. 1991.** Mechanization of tropical crops. Temple Press. Gran Bretaña.
8. **BAÜMER, G. 1992.** Processing of gari and tapioca in rural industries. Report to the Government of Nigeria. FAO/EPTA. REPORT No. 1486. Italia.
9. **BRAUTLECHT, CH . 1983.** Starch: its sources, production and uses. Reinhold E.U.A.
10. **CALDWELL, R. 1984.** Waxy corn after ten years. Chemurgic Digest, 12.4. E.U.A.
11. **CAMPESE, O. 1989.** Colture Tropicali. FAO/SF. Food Technology Research and Development Centre. Vol. 6 Pag. 339. Italia.

12. **CEDILLO, M. 1992.** Cassava rice or landang. Philippine Agriculturist, 35:434 .
Filipinas.
13. **COURS, G 1988.** Characteristics of cassava flour. Tropical Abstracts, 25(1): 24.
E.U.A.
14. **COURSEY J. 1987.** The market for starch in selected industrial countries . CENTRO
DE COMERCIO INTERNACIONAL UNCTAD/GATT. Suiza.
15. **CRISTALDO, J.C.1990.** La industria de la mandioca. Servicio Técnico
Interamericano de Cooperación Agrícola. Ministerio de Agricultura y Ganadería.
Boletín no. 560. Paraguay.
16. **CHERIEX. L. 1985.** "La elaboración del almidón de las raíces de yuca". Bennerkom,
Países Bajos.
17. **DARJANTO, K. 1993.** La yuca Djakarta, Ed. Pusat Djawatan Pertanian Rakjat .
Indonesia.
18. **DE GROOT, J.E. 1987.** De beoordeeling van de Kealiteit van tapioca – meel
(Examen de la harina de tapioca con respecto a la calidad). Land – bouw 13:239
Holanda.
19. **DEVROEDE, R. 1989.** Industrialization du manioc. Report of united mission to the
Republic of Central Africa). Suiza.
20. **DUFURNET, R. 1992.** Le manioc dans la province de Tulear. Agronomie Tropicale,
17 (11): 1015-1020. Madagascar.
21. **EDWARDS, D. 1994.** The industrial manufacture of cassava products: and economic
study. Tropical Products Institute. Gran Bretaña
22. **EVERINGTON, E. 1992.** Cassava starch and its uses West Indies Agricultural
Bulletin 12:527 . India.

23. EYNON & CANE. 1986. Starch: Its chemistry, technology and uses. Ed Keffler. Gran Bretaña.
24. FAUCHÈRE. A. 1991. La culture du manioc à Madagascar. Bibliothèque d'agriculture coloniale. Francia.
25. FERNÁNDEZ A, MACLEOD. 1991. FollaJe de yuca como fuente de forraje y proteína para la engorda de ganado bovino con miel/urea. Prod. Anim. Trop 2:198-202. Costa Rica.
26. FLAWS, L. 1988. The production of particle board from cassava stalks. Tropical Products Institute. Gran Bretaña.
27. GOSH, B. 1986. The manufacture of starch from cassava its in Uganda. East African Agricultural and Forestry Journal 34:76-83. Uganda.
28. GRAN DICCIONARIO ENCICLOPÉDICO Ilustrado. tomo XII. 1990. "Usos culinarios de la yuca". Selecciones del Reader's Digest. M.R. México.
29. GREENSTREET, V. 1992. Tapioca in Malasia. Kuala Lumpur. Department of Agriculture. General Series Bulletin No. 13. Malasia.
30. HAL WEIJN E.K.E. 1982. Gapek als grondstof voor de bereiding van cassavemeel (Gapek como materia prima para la elaboración de la harina de tapioca). Batavia. Department van landbouw. Nijverheid en handel. Mededelingen van de Afdeling Nijverheid No. 10. Holanda.
31. HAWLEWIJN, E. 1984. Influencia del tratamiento previo de la harina de tapioca sobre la viscosidad del almidón. Batavia, Department van landbouw. Nijverheid en Handel. Mededelingen van de Afdeling Nijverheid No. 15. Holanda.
32. HISTLER, T & PASCHELL, E. 1985. Starch chemistry and Technology. New York, Academic Press. E.U.A.

33. **HOLLEMAN, L. & DE VOS, L. 1991.** (Medición y especificaciones del color de la harina de tapioca) *Ingenieur in Nederlands-Indie* 8:33 Holanda.
34. **HOLLEMAN, L. 1992.** Tapioca as an agricultural industry product of Indonesia *Journal of Scientific Research*: 1:33-36. Gran Bretaña.
35. **HOWIE, 1990.** Cassava culture. *Agriculture Bulletin*, 7: 323, 370. Malasia.
36. **HUBERT, P. & DUPRÉ, E. 1984.** Le manioc. Ed. Dunod et Pinat. Francia.
37. **INGRAM, J. 1985.** Cassava processing commercially available machinery. London Tropical Products Institute. Gran Bretaña.
38. **INGRAM, J. 1987.** Standard, specifications and quality requirements for processed cassava products. London. Tropical Products Institute. Gran Bretaña.
47. **JACQUOT, R & NATAN, B. 1986.** Le manioc et son utilisation alimentaire. Edit. Herman. Francia.
39. **JUÁREZ, G. 1988.** La hoja de yuca como forraje. (La agricultura y ganadería *penava* Vol. XXIX No. 347, 881-888) México.
40. **KENNEDY, N. 1985.** Starch: raw material sources and economics. *Industrial and Engineering Chemistry*, 97:1405 E.U.A.
41. **KERR, R. 1982.** Chemistry and industry of starch. Academic Press. E.U.A.
42. **KIM, J & DE RUITER, D. 1989.** Bakery products with non-wheat flours. *Baker's Digest* 43(3):56-63 E.U.A.
43. **KIM, J & RUITER, D. 1988.** Bread from non-wheat flours. *Food technology*. 22:867-868 E.U.A.
44. **KNIGHT, J. 1991.** The starch industry. Pergamon Press. Gran Bretaña.
45. **KOCH, L. 1954.** "Algunos hechos históricos referentes al cultivo de la yuca" *De Indische Mercur*. 57:267. Holanda.

46. **KROCHMAL, A. 1986.** Propagation of cassava. *World Crops*, 21: 189-195. E.U.A.
47. **KUPPUSWAMY, S. 1992.** Studies on the dehydration of tropical Mysore, Central Food Technological Research Institute- E.U.A.
48. **L'AVENIR . 1989.** Desplantations de manioc. *Marchés coloniaux du monde* 10 (440) 1141-1142. Francia
49. **LITTLE, A. 1984.** Tapioca marketing survey and feasibility. Report to the Malaysian Government. ass) E.U.A.
50. **MARASSI, A. 1988.** La manioca in Costa d'Ávorio o la sua importanza negli ordinamenti produttivi del paese. *Rivista di Agricoltura Tropicale*, 62: 201-227. Italia.
51. **MENDIOLA, N. 1982** Cassava growing and cassava starch. *Philippine Agriculturist*, 20:447. Filipinas
52. **MIJHOLT, J & VAN VEEN. 1990.** Voedings tabellen (tablas de nutrición). *Geneeskunding Tijdschrift voor Nederland-Indie* 80:80. Holanda
53. **NESTEL, B. 1992.** Current trends in cassava research. *International Development Research Centre*. Canada.
54. **NIJHOLT, J.1991.**"Sobre el envenenamiento al ingerir raíces de yuca y productos preparados a base de las mismas". *Landbouw* 7: 859. 1991 Costa Rica
55. **NIJUNI, J 1992.** Handbook of starch. Ed. Asakura Shoten. Japón.
56. **PEDROZA, T. 1993.** Informe anual investigación agrícola, CIAT México.
57. **PERTEN, H. 1991.**Studies on the manufacture of french – type bread. Institute of Technology Alimentaire (FAO/SF project) Senegal
58. **PHILLIPS. 1992.** Cassava utilización and potential markets. *International Development Research Centre*. Canadá
59. **RADLEY, J. 1993.** " Starch and its derivates" Ed. Chapman. Gran Bretaña.

60. **RAO, M.** 1992. Quantitative determination of fibre present in tapioca and sago globules, *Journal of Scientific and Industrial Research*. 15b:202. E.U.A.
61. **RAWNSLEY, J.** 1989. Crop Storage. Food Research and Development Unit. Technical Report No. 1. Ghana.
62. **REGNAUDIN, A.** 1977. Le manioc, culture, industrie. Societe d' editions géographiques maritimes et coloniales. Francia.
63. **ROGERS, D.** 1993. Studies of *M. Esculenta* Crantz and related species. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 90(1), pags: 43-54. E.U.A.
64. **SANIF, S.** 1990. Ubi kaju (yuca). Djakarta, Ed. Balai Pustaka. Kuntji Tani No.2. Indonesia.
65. **SASSO, H.** 1992. Revisión Bibliográfica del uso de la yuca en la alimentación de cerdos. Tesis, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México.
66. **SHELTEMA, A.** 1993. World production and consumption of cassava. Netherlands Indies of Institute of Pacific Relations. Holanda.
67. n Cassava starch. *Agricultural Journal. Fiji*, 29:16. E.U.A.
68. **SINHA, S & NAIR, T.** 1989. Studies on the variability of cyanogenic glucoside content in cassava tubers. *Indian Journal of Agricultural Science*. Vol, 38, pags: 958-963. E.U.A.
69. **SOHMER, S.** 1990. Some cultivars of *M. Esculenta* Crantz in Costa Rica. E.U.A.
70. **SOENARTO, R.** 1988. Membuat tepung tapioca (Fabricación de harina de tapioca): bogor, Ed. Balai. Penjelidikan Kimia. Indonesia.
71. **SUBRAHMANYAN, V.** 1986. Recovery of starch from tapioca fibre. *Bulletin of the Central Food Technological Research Institute*, 5(4), pags: 80,81,86. Gran Bretaña.

72. **VERSEY – FITZGERALD, D. 1990.** Brazilian methods of preparing cassava, East African-Agricultural Journal. 15:165. Brazil.
73. **WALKER, A. 1993.** Preparation du manioc et du vin d' ananas an Gabon et en Amazonie, Revue internationale de botanique appliquée et d' agriculture tropicale, 33:86. Francia.
74. **WISTLER, R. & PASCHALL, E. 1991.** Starch chemistry and technology, 2 vols. Academic Press. E.U.A.
75. **ZAPATA, A Y RUBIO, R. 1993** .Empleo de yuca en levante de novillas holstein en el valle de Cauca. Curso intensivo del cultivo de yuca. Instituto Colombiano Agropecuario. Colombia.
76. **ZETINA, A. 1989.** Logros y aportaciones de la investigación agrícola en el estado de Tabasco. CIAGOC, CAEMVI, INIA, SARH. (páginas: 32-35). México.
77. **ZETINA, A. 1991.** Sabanera y Costeña dos nuevas variedades de yuca para el trópico húmedo de México. CIAGOC, INIA, SARH, CAEMVI (INIA). folleto técnico No. 10. México.