

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



“EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE LA RAÍZ TUBEROSA DE LA YUCA (*Manihot esculenta*) Y SU CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA”

Miguel Arnoldo Lemus Gudiel

Guatemala
2004

**“EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE LA RAÍZ TUBEROSA
DE LA YUCA (*Manihot esculenta*) Y SU
CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA”**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE
GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

**“EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE LA RAÍZ TUBEROSA
DE LA YUCA (*Manihot esculenta*) Y SU
CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA”**

Miguel Arnoldo Lemus Gudiel

Trabajo de investigación presentado para optar al grado de
MSC en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Guatemala
2004

Vo.Bo.

(f) _____
Licenciada Ana Silvia Colmenares de Ruiz

Tribunal:

(f) _____
Licenciada Patricia Palacios de Palomo

(f) _____
Doctor Ricardo Bressani

Fecha de aprobación: 20 de mayo del 2004

DEDICATORIA

A:

Dios y la Virgen María

Mis padres

Lic. Elmer Arnoldo Lemus Orellana
Teresa Arcely Gudiel de Lemus

Mi esposa

Cristina Nisthal de Lemus

Mis hijos

Andrea Cristina Lemus Nisthal
Miguel Estuardo Lemus Nisthal
María Ximena Lemus Nisthal

Mis hermanos

Licda. Ketty Arcely Lemus Gudiel
esposo e hijos
Ing. Elmer Estuardo Lemus Gudiel
esposa e hijos

Mis abuelitos

Miguel Angel Lemus Roca (Q.E.P.D.)
Enriqueta Orellana de Lemus (Q.E.P.D.)
Coronel Porfirio Gudiel Merlos (Q.E.P.D.)
María Herlinda Pérez de Gudiel (Q.E.P.D.)

Mi suegra

Edna Valdés Rodas

Mi asesora de tesis

Licda. Ana Silvia Colmenares de Ruiz

Mis catedráticos y tribunal de tesis

Licda. Patricia Palacios de Palomo
Dr. Ricardo Bressani

Mi institución laboral

Grupo Buena, en especial a
Jorge Raúl García-Granados y familia

Mis colaboradores

Miguel Zacarías Reyes
Carlos Arias

Mis compañeros

Grupo Buena
Cámara Guatemalteca de la Construcción
2da. promoción de la maestría.

ÍNDICE

LISTA DE CUADROS.....	i
LISTA DE GRÁFICAS.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN.....	v
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	3
A. Generalidades.....	3
B. Utilización.....	7
C. Proceso de obtención del almidón.....	8
D. Química del almidón.....	11
III. JUSTIFICACIÓN.....	23
IV. OBJETIVOS.....	24
V. HIPÓTESIS.....	25
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
VIII. CONCLUSIONES.....	61
IX. RECOMENDACIONES.....	62
X. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	63
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	64

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Composición comparativa. Base seca de la raíz y el follaje de yuca.....	6
2	Composición media de la raíz entera, de la corteza y del almidón central de yuca (%)......	6
3	Composición química de algunos almidones.....	11
4	Estructura cristalina y microscópica de algunos almidones.....	13
5	Características de la endoterma de gelatinización de algunos almidones.....	14
6	Resultados de la extracción del almidón de yuca para las Variedades Tapachulteca y Colombiana.....	32
7	Análisis proximal de la raíz de yuca fresca.....	41
8	Análisis proximal del almidón de yuca.....	42
9	Granulometría de la variedad Tapachulteca 11 meses.....	43
10	Granulometría de la variedad Tapachulteca 18 meses.....	44
11	Granulometría de la variedad Colombiana 11 meses.....	44
12	Granulometría de la variedad Colombiana 18 meses.....	44
13	Solubilidad máximo del almidón de yuca.....	48
14	Acidez extraíble del almidón de yuca.....	48
15	Densidad del almidón de yuca.....	49
16	Determinación del porcentaje de amilosa y amilopectina.....	49
17	Absorción de agua.....	50
18	Absorción de aceite.....	50
19	Estabilidad a la congelación del almidón de yuca.....	52
20	Retrogradación Tapachulteca 11 meses.....	53
21	Retrogradación Tapachulteca 18 meses.....	53
22	Retrogradación Colombiana 11 meses.....	54
23	Retrogradación Colombiana 18 meses.....	54
24	Capacidad de formar película del almidón de yuca.....	54
25	Formación y estabilidad de espuma del almidón de yuca.....	55

Cuadro		Página
26	Transparencia.....	55
27	Retrogradación azúcares y sales.....	56
28	Retrogradación azúcares y sales.....	56
29	Retrogradación azúcares y sales.....	57
30	Retrogradación de azúcares y sales.....	57
31	Comparación de propiedades de almidón de yuca y malanga....	59

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica		Página
1	Viscosidad Tapachulteca 11 meses.....	46
2	Viscosidad Tapachulteca 18 meses.....	46
3	Viscosidad Colombiana 11 meses.....	46
4	Viscosidad Colombiana 18 meses.....	47
5	Estabilidad a diferentes pH variedad Tapachulteca 11 meses....	51
6	Estabilidad a diferentes pH variedad Tapachulteca 18 meses....	51
7	Estabilidad a diferentes pH variedad Colombiana 11 meses.....	51
8	Estabilidad a diferentes pH variedad Colombiana 18 meses.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Lavado y descascarado de la yuca fresca.....	34
2	Corte y molido.....	34
3	Tamizado.....	35
4	Serpentín.....	35
5	Pila de recolección de agua.....	36
6	Centrifuga.....	36
7	Secado al sol.....	37
8	Secadora industrial.....	37
9	Chimenea para salida de vapor.....	38
10	Equipo auxiliar para agilizar secado.....	38
11	Bagazo.....	39
12	Sacos de almidón de yuca.....	39
13	Pulverizadora de bagazo.....	40
14	Mezcladora.....	40
15	Molido y ensacado.....	41
16	Apariencia microscópica del almidón de yuca tapachulteca....	45
17	Apariencia microscópica del almidón de yuca colombiana.....	45
18	Almidón Tapachulteca 11 meses.....	58
19	Almidón Tapachulteca 18 meses.....	58
20	Almidón Colombiana 11 meses.....	59
21	Almidón Colombiana 18 meses.....	59

RESUMEN

Este trabajo de tesis es un estudio del almidón extraído de la raíz tuberosa de la yuca (*Manihot esculenta*), de dos variedades que crecen en el Departamento de Guastatoya, El Progreso.

El método de extracción del almidón de yuca utilizado fue el mismo que los pobladores de la región usan, el cual consiste en quitar la suciedad y la cáscara de la yuca, cortarlo en trozos, tritarlo, remojarlo para que libere el almidón en una suspensión acuosa, tamizarlo, centrifugarlo, decantar el sobrenadante, secarlo y molerlo. Las dos variedades de yuca analizadas son la tapachulteca conocida como una buena fuente de almidón y la colombiana conocida para uso en la alimentación humana.

De estas dos variedades analizadas se tomaron muestras con 11 y 18 meses de cultivo, para así establecer sus diferencias, los análisis que se realizaron fueron los siguientes: análisis proximal de la yuca fresca y el almidón, características físico-químicas del almidón y las características funcionales del almidón.

Como resultado se obtuvo que la variedad tapachulteca con 18 meses de cultivo tiene un mejor rendimiento de almidón y sus características físico-químicas y sus propiedades funcionales son mejores.

El bagazo obtenido después de la extracción del almidón de yuca puede ser utilizado como un sub-producto para la alimentación animal.

La raíz de yuca tiene un bajo porcentaje de proteínas, por lo tanto es necesario realizar estudios de la combinación de la raíz de la yuca con su follaje, el cual constituye uno de los materiales foliares de mayor contenido proteico, para crear un alimento con una dieta más balanceada, de igual manera es necesario realizar estudios de elaboración de almidón de yuca fortificado con diversas fuentes de proteína (pescado, soya, levaduras, etc.) para el consumo humano.

I. INTRODUCCIÓN

La yuca es un arbusto tropical de raíz tuberosa conocida científicamente como *Manihot esculenta*, Crantz, familia Euphorbiaceae. Es originaria de las zonas tropicales del nuevo mundo. Probablemente fue cultivada inicialmente en las áreas bajas de Mesoamérica (sur de México, Guatemala y Honduras), y de aquí fue llevada a través de la América Tropical al resto del continente.

Las principales ventajas de la yuca son su mayor eficiencia en la producción de carbohidratos y su alto porcentaje de almidón contenido en la materia seca. Adicionalmente es un cultivo cuya producción se adapta a ecosistemas diferentes, pudiéndose producir bajo condiciones adversas y climáticas marginales.

Las raíces tuberosas son fuentes importantes de energía, debido principalmente a su contenido de almidón, un polisacárido muy complejo que se almacena en forma de gránulos en las células de membrana delgada. Los diferentes tipos de almidones se diferencian entre sí, por el tamaño de los gránulos, su apariencia microscópica, sus características físicas y su constitución química, pues existen almidones que están constituidos de una mayor cantidad de amilosa y otros de amilopectina, los primeros tienen importancia en el campo de las fibras y plásticos y los segundos en el campo alimenticio. (3)

El almidón es un componente funcional importante en muchos sistemas alimenticios; constituye la fuente principal de energía en la dieta y contribuye a la estructura, textura, consistencia y apariencia de los productos en los cuales se incorpora. En la industria, el almidón se utiliza, ya sea en forma nativa o modificada.

El almidón tiene uno de los rangos de usos más amplio de cualquier producto obtenido de fuentes vegetales. Es una buena fuente de carbohidratos; pero en la industria alimenticia se usa mayormente para otros propósitos: como espesante; como relleno; como aglutinante; como estabilizante y para mejorar textura. Algunos ejemplos de estos usos son: en sopas (enlatadas y mezclas en polvo), postres instantáneos, mezclas para flanes y natillas, salchichas y carnes frías, salsa, productos de panadería, pasteles y helados. Los usos industriales del almidón son numerosos. Entre los usuarios más importantes están la industria papelera y cartonera (papeles para impresión, papeles para

revestimientos, cartón corrugado), adhesivos (para etiquetas, para laminados y cinta engomada), textiles (estructura, terminación), perforación de pozos (lodo de perforación), industria de tintes, industrias de la construcción, metalmecánica y química. (3)

El objetivo principal de este trabajo de investigación es el de establecer un procesamiento de extracción de almidón de yuca y el de determinar las características y propiedades funcionales del almidón de yuca y su uso en alimentos.

Para la elaboración del almidón se utilizará yuca fresca y bisulfito de sodio como antioxidante y bactericida.

II. ANTECEDENTES

A. Generalidades de la yuca

La yuca es un arbusto tropical de raíz tuberosa conocida científicamente como *Manihot esculenta*, Crantz, familia Euphorbiaceae. El nombre común de “yuca” es casi general en América Latina, aunque en México a veces la llaman “guacamote” y en Brasil se conoce como “mandioca”. En inglés se le llama “manioc”, “cassava” y a veces “yucca”. (9)

Las principales ventajas de la yuca son su mayor eficiencia en la producción de carbohidratos en relación con los cereales y su alto porcentaje en almidón contenido en la materia seca. Adicionalmente, es un cultivo cuya producción se adapta a ecosistemas diferentes, pudiéndose producir bajo condiciones adversas y climáticas marginales. (1)

La yuca es un arbusto de tamaño variable de 1-5 metros de altura. Los cultivares se agrupan según su tamaño en: 1) bajos (hasta 1.5 metros); 2) intermedios (1.50-2.50 metros); y 3) altos (más de 2.50 metros). (11)

La estaca plantada de nacimiento preferentemente en su extremo apical a uno o a varios tallos. Cada tallo, puede ramificarse, a cierta altura del suelo, constituyendo esta división la ramificación primaria. Pueden haber también otras ramificaciones. Las variedades, según el número de ramificaciones primarias se clasifican en: 1) con ninguna ramificación; 2) con dos ramificaciones; y 3) con tres o más ramificaciones. (11)

La posición de los tallos puede ser: 1) erecta; 2) decumbente; y 3) acostada. El color del tallo a los 6-8 meses de desarrollo se manifiesta como: rojo claro; rojo; rojo oscuro; marrón; verde oscuro; verde; verde claro; amarillo. (11)

Las hojas de las yucas son alternas, simples y tienen vida corta (1-2 meses), son de forma palmipartidas, con 5-7 lóbulos, los que pueden tener forma aovada o linear. El tamaño de la hoja se mide por el largo del lóbulo medio, y por lo general es de 14-17 cm.

El color de la cara superior de las hojas puede ser; verde; verde marrón; y verde claro. Los pecíolos son largos y delgados de 20-40 cm. y sus colores son: rojo; rojo verdoso; verde rojizo; y verde. (11)

En las estacas de la yuca se forman (previo a las raíces), callos en el extremo distal a una semana de la plantación; de allí se originan las raíces dentro de dos o tres días. Las raíces así formadas, debido a la diferenciación, manifiestan un crecimiento secundario de

la región vascular, que comienza a las tres semanas, dando origen a las raíces reservantes. Un corte transversal de una raíz reservante de yuca muestra dos divisiones principales: la corteza y el cilindro central o pulpa. (11)

La planta de yuca sigue cuatro fases principales de desarrollo y son: brotación de las estacas, formación del sistema radicular, desarrollo de tallos y hojas y engrosamiento de las raíces reservantes y acumulación de almidón en sus tejidos. (12)

B. Ecología general

La yuca es adaptable a los diversos climas del trópico, especialmente entre el nivel del mar y los 1,800 metros de altura, con temperaturas entre 16° y 30°C, aunque el clima más propicio para el cultivo es el que registra temperaturas entre los 18° y los 25°C y con las épocas de verano e invierno bien definidas. (9)

Debido a que la parte aprovechable más importante de la yuca es la raíz, los suelos donde se logra un mejor desarrollo de ella son los de textura media, desde francos hasta migajones arcillo-limosos, de preferencia profundos y con un buen drenaje, pero pueden obtenerse resultados satisfactorios en cualquier suelo. (9)

Cuando crecen en altitudes arriba de 1,000 metros, el crecimiento de la yuca es lento y con un rendimiento pobre. Hoy en día la mayor parte de cultivos se da en altitudes bajas. La yuca se cultiva también bien en regiones con viento. (14)

La planta frecuentemente encuentra condiciones adversas durante su período de crecimiento de una temporada a otra. La mayor adversidad que se encuentra entre temporadas durante el crecimiento de la yuca es en áreas de sequía. Durante épocas secas, entre temporadas, la planta de yuca reduce su tamaño o deja de crecer, el incremento del tamaño de los tubérculos se detiene también en este tiempo. Cuando retorna la temporada de lluvia, los tubérculos de la planta de yuca crecen rápido y vigorosamente. Los internudos que se producen durante la temporada seca son cortos, mientras que en condiciones de lluvia son largos. (14)

C. Variedades principales

Existe en la actualidad un gran número de tipos de yuca y no se ha aceptado un patrón determinado para su clasificación. El número preciso de variantes que pudieran clasificarse como “variedades” en el sentido hortícola, es muy elevado y aunque se

desconoce la cifra exacta se sabe que puede sobrepasar el millar de nombres usados, entre los cuales es muy probable que exista un elevado número de sinónimos. (9)

Los agricultores las dividen en dos grupos: las yucas dulces y las amargas; de éstas, para el consumo humano, las yucas dulces y de color blanco son las más populares en algunas regiones de Centroamérica. Parece ser que entre más dulce es la yuca menor es su contenido de ácido cianhídrico. Sin embargo, este ácido venenoso puede ser removido lavando la yuca con agua o por tratamiento de calor, razón por la cual no existe mayor peligro cuando la yuca se consume cocida; aún en aquellas especies que contienen los mayores contenidos de este ácido. (9)

D. Época de siembra y cosecha

La época de plantación más adecuada para la yuca es la entrada de la estación de lluvias. (12) A finales de verano (marzo-abril) o a inicios de las lluvias (mayo-junio), si se dispone de riego, la siembra podría realizarse durante la época de verano. Este período podría registrar ligeras variaciones dependiendo de las circunstancias climáticas. (9).

Los factores que determinan la época de cosecha de la yuca son el rendimiento en raíces reservantes y el rendimiento en materia seca total de estas raíces, ambos valores expresados en toneladas por hectárea. (12).

El signo de que un plantel de yuca está próximo a la madurez es el requebramiento del suelo alrededor de los cuellos de las plantas. (11). El arranque de la yuca puede ser efectuado durante los 6 hasta los 12 meses después de la siembra; a veces, hasta los 24 meses, dependiendo del clima y la variedad sembrada. En todo caso, el producto deberá presentar la consistencia blanda y tierna que lo hace adecuado para el consumo humano. La consistencia leñosa en las raíces es una característica que debe evitarse. (9)

La cosecha para la industria del almidón de yuca se efectúa cuando se produce el máximo rendimiento en raíces, los granos de almidón son más grandes y el porcentaje de materia seca total es más elevado, situación que ocurre, según la situación de los cultivos, entre los 12 y 24 meses del ciclo. (12)

E. Análisis y composición

Del cultivo de la yuca pueden obtenerse dos productos, ambos muy valiosos desde el punto de vista nutricional, cuando son debidamente balanceados con otros componentes de la dieta: la raíz y el follaje de la planta. La raíz es fundamentalmente rica

en carbohidratos y el follaje es uno de los materiales vegetales verdes con mayor riqueza proteica; contiene además cinco veces más grasa y casi el doble de fibra. Por otra parte, el contenido de humedad es marcadamente menor en la raíz que en el follaje. (12)

Cuadro No. 1 Composición comparativa. Base seca de la raíz y follaje de yuca. (12)

Fracciones	Raíz (%)	Follaje (%)
Materia seca	38.8	23.1
Proteína cruda	2.9	19.5
Extracto etéreo	0.9	5.2
E.L.N	83.8	51.0
Fibra cruda	9.2	16.9
Cenizas	1.3	7.4
Energía Mcal/ka	4.17	2.64
Calcio	0.11	0.80
Fósforo	0.02	0.26
Magnesio	0.08	0.23
Sodio	0.03	0.03
Potasio	0.23	1.47

F. Raíz

La raíz de yuca consta de una película suberosa que representa 1-2%, la cáscara o corteza 12-20% y el cilindro central o pulpa que forma 78-85% de la raíz total. El contenido de proteína de las raíces frescas varía entre 0.7% y 2.6%, además se reporta que del 50% al 60% del nitrógeno contenido en la raíz de yuca es no proteico. La cantidad de aminoácidos esenciales varía considerablemente en muestras de harinas de diferentes variedades de yuca. (12)

Un informe del CIAT indica que del 40% al 60% del nitrógeno existente en las raíces de yuca está presente como proteína verdadera, 1% como nitratos, nitritos y ácido hidrocianúrico, y del 25% al 30% como compuestos nitrogenados aún no identificados. (12)

Cuadro No. 2 Composición media de la raíz entera, de la corteza y del cilindro central de yuca (porcentaje) (12)

	Raíz entera	Raíz entera	Corteza	Corteza	Cilindro central	Cilindro central
	Húmeda	Seca	Húmeda	Seca	Húmeda	Seca
Humedad	61.0		72.0		59.0	
Proteína	1.2	3.1	1.5	5.4	1.0	2.4
Fibra	1.2	3.1	2.1	8.9	1.1	2.7

	Raíz entera	Raíz entera	Corteza	Corteza	Cilindro central	Cilindro central
	Húmeda	Seca	Húmeda	Seca	Húmeda	Seca
Extracto etéreo	0.4	1.1	0.6	2.1	0.4	1.0
E.L.N.	34.9	89.4	21.7	77.5	37.3	91.0
Cenizas	1.3	3.3	1.7	6.1	1.2	2.9

G. Utilización

La planta de yuca se utiliza en forma integral: raíces tuberosas y follaje. Las raíces se emplean en la alimentación humana, en la alimentación animal y en la industria de almidones, alcoholes y productos derivados. Los tallos y hojas sirven principalmente como fuente de proteína en la alimentación animal. (12)

1. Almidón. El almidón es uno de los principales componentes de la yuca y de otras raíces y tubérculos, se encuentra almacenado en gránulos y se extrae utilizando un proceso de disolución en agua y filtrado con mantas. Su composición química es básicamente de amilosa y amilopectina, dos carbohidratos de estructura diferente, que son los que le dan las propiedades funcionales al almidón. Ambos se encuentran en proporciones diferentes dependiendo de donde se obtenga el almidón y de otras variables. (1)

El almidón de yuca también se conoce como Tapioca y es utilizado en la industria alimentaria como ligante de agua, coadyuvante de emulsificantes, fuente de carbohidratos, espesante y agente texturizante. Es un polvo fino de color blanco, con aproximadamente un 13% de humedad como máximo y un pH cercano a 6. El almidón natural necesita de la aplicación de calor para que se hidrate. El grado de hidratación depende del pH, temperatura y tiempo. Cuando se hidrata y se dispersa en agua caliente se forma un compuesto de color claro que tiene un sabor suave; cuando se enfría puede formar un gel débil. Si se calienta por tiempo prolongado y en condiciones ácidas, el almidón pierde sus habilidades espesantes. (1)

Por sus propiedades se puede utilizar en la industria alimentaria para alimentos extruidos y en rellenos de pastel. También se utiliza como espesante en alimentos naturales y alimentos que no son sometidos a procesos rigurosos. También se utiliza en alimentos para bebés. (1)

El almidón de yuca se puede usar para sustituir parcialmente el almidón de maíz y de papa en algunos procesos como la obtención de siropes de glucosa y en todos los tipos de almidones modificados. (1)

a. Proceso de obtención

1) Calidad de las materias primas. Los tubérculos son plantas vivas y necesitan aire para respirar y continuar viviendo. Durante el almacenamiento, los tubérculos consumen una pequeña cantidad de su propio almidón para mantener sus propiedades funcionales. Si las condiciones de almacenamiento no son las apropiadas, ocurre pérdida de almidón en el producto, también puede haber daño por maltrato en el producto por calentamiento del tubérculo, se consume mucho almidón y el tubérculo muere. (1)

2) Recibo y preparación. El lote se recibe, se prepara y luego, de ser necesario, se almacena en patios que están cerca de la banda transportadora para el ingreso de la materia prima a la planta. Las raíces más viejas son las que deben procesar primero. (1)

Los pedúnculos deben ser removidos de las raíces pues entorpecen todas las operaciones siguientes, como el pelado y el troceado, deben hacerse desde la cosecha. La tierra suelta también debe ser eliminada en el campo. Muchas veces se aplica un mecanismo de rotación para eliminar las impurezas antes del lavado. (1)

La suciedad debe ser eliminada para evitar problemas posteriormente. El buen lavado permite tener un producto final más fino, ya que muchas impurezas se parecen a las del almidón tanto en tamaño como en peso específico. Por eso sólo pueden ser eliminadas con el lavado. La fricción entre las raíces permite la eliminación de estas impurezas, y es uno de los factores más importantes en el control de calidad. En la primera las raíces se lavan sumergiéndolas en agua para eliminar la tierra adherida, y en la segunda las raíces se pelan por abrasión de unas con otras y de las raíces con las paredes del equipo. El agua de lavado se filtra y se debe sustituir de la que se pierde para que el proceso se haga bien (1).

3) Reducción de tamaño. Esta es una operación en la que da inicio la extracción del almidón. Permite que las células se abran para que salgan los gránulos del almidón. La masa que se obtiene es una mezcla de pulpa, jugo y almidón. (1)

Esta operación puede hacerse por una molienda o por rallado. El equipo recomendado para la molienda es un molino de discos pues se obtiene mayor rendimiento que con uno de martillos. La molienda se hace con agua para que se extraiga el almidón. El rallado se hace con equipo de alta velocidad por lo que solo se requiere de una sola pasada. (1)

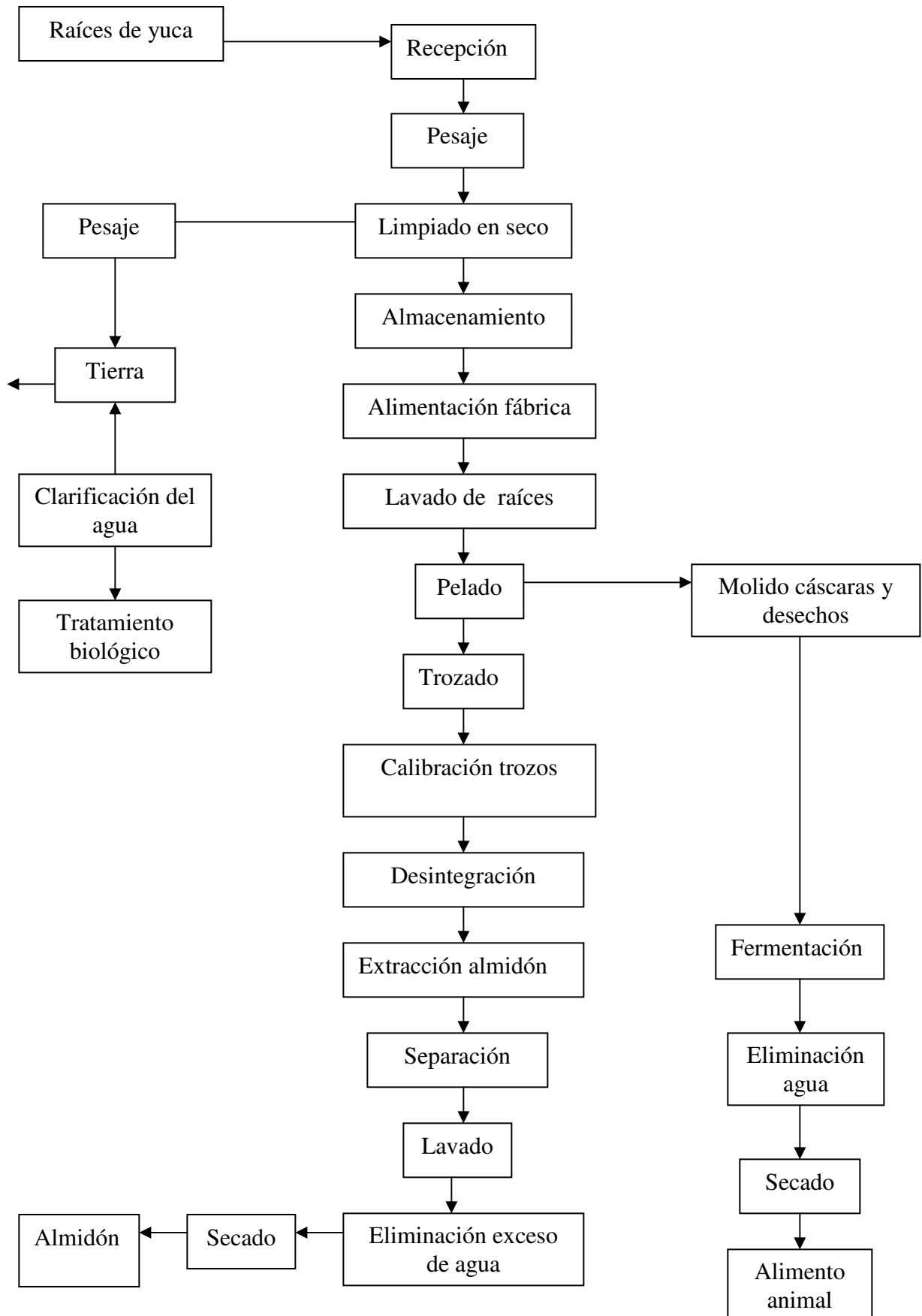
4) Extracción. Una vez obtenida la masa o jugo se pasa por mantas o bien si se utiliza equipo industrial lo que se usa es un sistema cerrado de tamices, para separar el líquido con el almidón de las otras impurezas. Este líquido o lechada se recoge sobre tanques de concreto revestidos de azulejo, se deja sedimentar por un período de seis a doce horas, este sedimento es el almidón ya extraído. Cuando el almidón es destinado para el consumo humano se debe agitar la lechada para eliminar la mancha (capa proteinácea) (1)

5) Secado. Luego la masa húmeda con almidón se pone a secar al sol, en bandejas sobre patios de cemento hasta tener un producto final con una humedad de 12%. El rendimiento final del almidón con respecto a la yuca fresca está alrededor de 6 kg de yuca por 1 kg de almidón seco, aunque este es muy variable y depende de muchos factores como calidad de la materia prima, grado de frescura, eficiencia de los procesos y otros. (1)

6) Otras operaciones. El jugo que se tiene después de la extracción es rico en azúcares y proteínas, cuando las células se abren, el jugo inmediatamente reacciona con el oxígeno formando compuestos coloreados que se pueden adherir al almidón. Para evitar estas coloraciones desagradables se puede añadir dióxido de azufre en forma de gas o bisulfito de sodio en solución. El gran poder reductor de los compuestos de azufre previene la coloración. Se debe agregar suficiente cantidad de algunos de estos compuestos para que el producto tenga un color amarillo claro. Solamente se pueden usar químicos de grado alimentario. (1)

La recuperación de bagazo, que es la torta que queda con el lienzo después de colar la masa, se puede utilizar para alimento animal, contiene hasta un 50% de almidón. (1)

Diagrama No. 1 Proceso de producción del almidón de yuca en gran escala. (7)



7) Química del almidón. Las moléculas del almidón son polímeros de los azúcares simples (o monosacáridos) de la glucosa. La glucosa es una hexosa, o sea, un azúcar con 6 átomos de carbono en la molécula. (5)

8) Moléculas de almidón. Cuando las unidades de glucosa en una molécula exceden de un cierto número, el alto polímero resultante se denomina “almidón”. Las estimaciones en el número de residuos de glucosa en las moléculas de almidón, varían de 400 a 4,000 en uno hasta varios cientos de miles en otros. Entre menos residuos de glucosa, más soluble es el compuesto. La maltosa con dos residuos es soluble, igual que la mayoría de las dextrinas. Pero cuando el polímero es largo, como el almidón, las moléculas son demasiado grandes para formar verdaderas soluciones. (5)

Dos tipos de moléculas de almidón son sintetizadas por las plantas, una es una molécula lineal denominada “amilosa” y la otra es una molécula ramificada denominada “amilopectina”. (5)

Cuadro No. 3 Composición química de algunos almidones (3)

Origen botánico	Amilosa (% m.s.)	Lípido (% m.s.)
Cereales		
Maíz	30	0.60
Arroz	8-30	0.50
Tubérculos		
Yuca	20-25	0.10
Papa	18-20	0.05-0.10

En los tubérculos hay una gran variación de contenido de amilosa: por ejemplo, los almidones de papa y yuca tienen alrededor del 20% de amilosa. Además los almidones de tubérculos casi no tienen lípidos, en donde la mayor parte de estos lípidos son liso-fosfolípidos: es decir, una cadena de ácido graso esterificada con ácido fosfórico. (17)

La amilosa y la amilopectina son dos polímeros de glucosa. La amilosa es esencialmente un polímero lineal, constituido de moléculas de glucosa ligadas. La amilopectina es, en cambio, un polímero ramificado. Los elementos fundamentales son cadenas lineales constituidas de 15 o 35 glucosas unidos por enlaces alfa 1-4. Estas cadenas están unidas entre ellas por enlaces lineales alfa 1-6 que forman los puntos de

ramificaciones. La amilopectina tiene 5-6% de enlaces alfa 1-6 y está constituida de alrededor de 100000 moléculas de glucosa. (17)

9) Naturaleza del proceso. Cuando la energía cinética de las moléculas de agua en contacto con los granos de almidón se hace lo suficientemente mayor como para producir la atracción entre las moléculas de almidón unidas por puentes de hidrógeno dentro del gránulo, las moléculas de agua pueden penetrar al grano del almidón, primero en las áreas menos densas, y luego que se eleva la temperatura, en las áreas cristalinas. (5)

La captación de agua de los granos de almidón comienza a una temperatura variable, de acuerdo con la fuente del almidón. Al ocurrir, la suspensión lechosa se hace menos opaca y más translúcida y los granos hinchados pierden su birrefringencia e inician el espesamiento del líquido. La viscosidad máxima de una pasta cocinada, coincide con la liberación del exudado y el plegamiento (deformación) de los granos de almidón hinchados. Los granos son más densos y por ello permanecen suspendidos en el líquido y se ayudan por la presencia del exudado que se considera el responsable de la mayor parte del espesamiento. (5)

10) Conformación. Las partes lineales de los dos polímeros pueden formar hélices con 6 moléculas de glucosa por cada ciclo. Esta propiedad es muy importante para explicar los estados físicos del almidón. En el caso de la amilopectina, los enlaces alfa 1-6 son puntos de ruptura para la formación de las hélices, y únicamente hélices cortas pueden formarse con las partes lineales de la molécula. En cambio, hélices constituidas de 120 moléculas de glucosa pueden formarse con la amilosa. (8)

11) Estructura cristalina. En el almidón nativo, las hélices se agregan para formar cristales. Se pueden evidenciar con difracción de rayos X, que permite definir dos tipos de arreglos cristalinos según la posición de los picos de difracción. (17)

- El tipo A, tiene mayores picos de intensidad de difracción para los ángulos a 15, 17, 18 y 23° y este es típico de los almidones de los cereales.
- El tipo B tiene mayores picos de intensidad de difracción para los ángulos a 5.6, 15, 17, 22 y 24°. El pico más típico de éste arreglo cristalino es a 5.6°. Este espectro de difracción X se encuentra generalmente en los almidones de tubérculos. La papa es el mejor ejemplo de esta estructura cristalina.

- El tipo C es una mezcla de los dos anteriores espectros. El almidón de yuca es por ejemplo del tipo C, es decir una mezcla de los dos tipos A y B, pero con preponderancia del tipo A. (17)

Todos los almidones son semi-cristalinos. Se puede calcular la cristalinidad a partir del área de los picos de difracción; está cerca del 40% para la mayor parte de almidones.

Cuadro No. 4 Estructura cristalina y microscópica de algunos almidones (3)

Origen botánico	Tipo cristalino	Cristalinidad (%)	Forma	Diámetro (um)
Cereales				
Maíz	A	40	Poliédrico	5-25
Arroz	A	40	Poliédrico	3-8
Tubérculos				
Yuca	Ca = A + b	40	Esférico, Hemisférico	5-35
Papa	B	25	Elipsoidal	15-100

La interpretación de los espectros de difracción de rayos X permite calcular la estructura molecular de los dos tipos cristalinos. El modelo más admitido es el siguiente: para los dos tipos cristalinos, los ladrillos elementales son de doble hélices: cada serie de la hélice está constituida de seis moléculas de glucosa por vuelta. Los hélices se arreglan paralelamente para formar los cristales. Es el arreglo de las hélices lo que distingue los de dos tipos cristalinos: el tipo A tiene una malla monocónica, cuando el tipo B tiene una malla hexagonal. (3)

12) Gránulos de almidón.

a) Tamaño y forma. Cuando la planta forma las moléculas de almidón, se depositan en los amiloplastos de la célula. Los granos de almidón para diferentes plantas tienen tamaños y formas característicos. Los diámetros varían de 2 a 150 micrones. La tapioca de la raíz de la planta de yuca mide de 12 a 25 micrones y éstas son redondas. (5)

b) Organización interna. Los gránulos de almidón de la mayoría de las plantas consisten de aproximadamente una cuarta parte de moléculas de amilosa y tres cuartas partes de moléculas de amilopectina. Sin embargo, ciertas plantas tienen la capacidad de elaborar gránulos de almidón que contienen una alta proporción de moléculas de amilosa o de amilopectina. Las cantidades relativas de los dos tipos de moléculas de almidón que una planta elabora, se relaciona con la proporción de las dos

enzimas en la planta, una característica heredada determinada por los genes. La proporción de los dos tipos de moléculas de almidón dentro de los granos de almidón, influye en su conducta al cocinarse. (5)

El examen microscópico de los gránulos de almidón proporciona claves acerca de la disposición internas de las moléculas del almidón. Para la observación bajo microscopio, los gránulos de almidón deben montarse en agua o en glicerina. (5)

c) Gelatinización. La fusión o gelatinización es la pérdida de la estructura cristalina. Hay algunas maneras de observar esta pérdida de estructura cristalina:

- la pérdida de la cruz de birrefringencia
- la pérdida del espectro de difracción de rayos X
- y la aparición de un endoterma de gelatinización (15)

Cuando el almidón es calentado en exceso de agua, la gelatinización se produce a una temperatura superior a 60°C en un intervalo de 0.5 a 1.5°C para cada gránulo. Pero, como los gránulos de cada muestra no tienen exactamente la misma temperatura de gelatinización, la transición ocurre, con una población de gránulos, en un intervalo de 5 a 15°C. La entalpía de gelatinización es cerca de 15J/g para todos los almidones nativos, pero está generalmente elevada para los almidones de tubérculos. (15)

Cuadro No. 5 Características de la endoterma de gelatinización de algunos almidones (3)

Origen botánico	Gelatinización	
	Temperatura (pico, °C)	Delta H (J/g m.s.)
Cereales		
Maíz	65	14
Arroz	65-75	9-13
Tubérculos		
Yuca	65	17
Papa	65	18

La temperatura del pico de 1 endoterma de gelatinización de los almidones nativos es generalmente cerca de 65°C, pero puede variar con la planta, la variedad y las condiciones de cultura. (3)

La temperatura de gelatinización varía con el contenido de agua de la muestra. Cuando el contenido en agua disminuye (para una relación agua/almidón inferior a 1), la

temperatura de gelatinización aumenta de manera exponencial y alcanza un valor cerca de 170°C para un almidón seco. (3)

d) El Engrudo. La pérdida de la estructura cristalina produce un hinchamiento del gránulo y una solubilización parcial de los polímeros. Estos fenómenos inducen la aparición de propiedades viscoelásticas. Estos tres fenómenos (hinchamiento, disolución y propiedades viscoelásticas que constituyen las propiedades funcionales) son consecuencia de la pérdida de la estructura cristalina. Se producen después de la gelatinización en un gran intervalo de temperatura. La gelatinización es un fenómeno físico definido (la pérdida de la estructura cristalina) y que ocurre en un intervalo de temperatura muy pequeña, con sus consecuencias funcionales que se producen en un amplio intervalo de temperatura. (3)

El hinchamiento ocurre en dos etapas: particularmente, para el almidón de maíz el hinchamiento es constante entre 75 y 90°C. Después, a una temperatura superior a 95°C, vuelve a aumentar. El poder de hinchamiento de los almidones de cereales es más pequeño que el que se observa para los almidones de tubérculos. De igual manera se pueden hacer observaciones para la solubilización: es superior para los almidones de tubérculos, y se producen en dos etapas. Un engrudo se puede describir como un material compuesto de dos fases: una fase disolvente conteniendo los polímeros disueltos y una fase dispersa constituida por los gránulos hinchados. (3)

La amilosa es la que se solubiliza durante la primera etapa de la cocción, con una temperatura de cocción inferior a 90°C y sin agitación, el engrudo es constituido de una fase continua o disolvente, que se enriquece en amilosa, y una fase dispersa de gránulos de almidón hinchados y enriquecidos en amilopectina. Si la temperatura de cocción es más alta, o si hay una agitación bastante fuerte durante la cocción, una parte de los gránulos va a romperse y una parte importante de la amilopectina va a pasar a la solución. Esta estructura de los engrudos de almidón tiene una gran importancia sobre sus propiedades reológicas. (3)

e) Complejación. El fenómeno de complejación ocurre durante la cocción y/o el enfriamiento. Se forma complejos, por ejemplo, entre ácidos grasos y la amilosa. La amilosa forma una hélice y en el eje de la hélice, donde se encuentran las partes hidrofóbicas del polímero, se coloca la cadena grasa que establece enlaces hidrofóbicos

con la molécula de amilosa. Estos complejos son insolubles. Además las hélices pueden arreglarse para formar cristales. Estos cristales tienen una temperatura de fusión elevada (cerca de 100°C) y un espectro de difracción de rayos X específico, de tipo V. (17)

Muchas moléculas pueden hacer complejos con la amilosa, deben tener una parte hidrófoba. El yodo, por ejemplo, forma complejos con la amilosa. Estos complejos tienen un color azul, y esta propiedad es utilizada para dosificar la amilosa. Los lípidos que están presentes en los almidones de cereales pueden hacer también complejos con la amilosa. Así, cuando se calienta un almidón de cereal se forman estos complejos. Como estos complejos son insolubles, esto disminuye la solubilización de la amilosa durante la cocción. Este fenómeno explica que los almidones de cereales son menos solubles que los almidones de tubérculos que no tienen lípidos. (17)

Las partes lineales de la molécula de amilopectina pueden formar también complejos. Pero como estas partes lineales son cortas, las hélices que se forman son cortas y únicamente pequeñas moléculas pueden meterse dentro de ellas. Así, la amilopectina puede formar complejos con yodo (son de color rosa) y no puede formar complejos con los ácidos grasos.

La fusión de los complejos puede observarse con análisis de entalpía diferencial. Esta transición hidrotérmica es reversible, al contrario de la gelatinización: así durante el enfriamiento de la muestra se puede observar una exoterma de re-formación de los complejos. (17)

f) Gelificación. La gelificación ocurre durante el enfriamiento y el almacenamiento de un engrudo. Un gel se opone a una solución por su estructura. En una solución, hay una sola fase, la fase disolvente: el polímero está solubilizado en la fase disolvente. En un gel al contrario, la fase continua es el polímero que hace una estructura, una red, tridimensional. Dentro de las mallas de la red se encuentra el disolvente que constituye la fase dispersa. En la estructura de la red y sus propiedades mecánicas que dan al gel sus propiedades viscoelásticas. El tipo de unión que ata las moléculas de polímeros permite definir algunos tipos de gel. Hay geles covalentes (son enlaces covalentes que atan los polímeros), iónicos (alginatos por ejemplo) o físicos, como por el almidón. En este caso, son enlaces de baja energía (hidrófobos, o Van der Waals por ejemplo) que atan los polímeros. (17)

Se puede distinguir dos etapas en el fenómeno de gelificación: la separación de fase y la cristalización, o retrogradación (en el caso del almidón). La separación de fase es la agregación de las moléculas de polímeros que van a formar una red tridimensional. Existe una concentración mínima por la que ocurre este fenómeno: es la concentración crítica de gelificación (C_0). La concentración crítica de gelificación es de 1.5 (% p/p) para la amilosa y de 10% para la amilopectina. Otra característica importante de este fenómeno es la velocidad. Para una solución de amilosa (con una concentración dos veces superior a C_0), la separación de fases sucede en 50 minutos a 20°C, mientras que se necesita 5 días para que ocurra en una solución de amilopectina (con una concentración dos veces superior a C_0 y a una temperatura de 1°C). (17)

La segunda etapa de la gelificación es la retrogradación. La cadena de los polímeros que son agregados en el gel, van a alinearse para formar cristales. Estos cristales son de tipo B para los dos polímeros (amilosa y amilopectina) cualquiera que fuera el tipo cristalino del almidón nativo. Los cristales de amilosa funden a alta temperatura (entre 120 y 150°C) mientras que los cristales de amilopectina funden a baja temperatura (cerca de 50°C). Esta cristalización va a endurecer el gel y acarrear el fenómeno de sinéresis, es decir la expulsión de una parte del disolvente fuera del gel. (17)

La velocidad de retrogradación es diferente para los dos polímeros: para una gel de amilosa (con concentración dos veces superior a C_0), ocurre en un día y para una gel de amilopectina (con concentración dos veces superior a C_0) se necesita mas de 40 días. (16)

Otro fenómeno ocurre cuando los dos polímeros están mezclados: es la separación de fases entre los dos polímeros. Desde una concentración de almidón superior a 3% (m.s.), existe una zona entredicha en la que los dos polímeros no pueden coexistir. (8)

g) Transición vítrea. La transición vítrea ocurre durante la cocción y el enfriamiento de un almidón. Este cambio concierne la fase amorfa del almidón. En todos los sólidos semi-cristalinos, se puede observar dos transiciones de fases cuando se calientan; estas transiciones se pueden observar a través de las propiedades viscoelásticas. (15)

La primera es la transición vítrea a una temperatura media, se pasa de un sólido rígido a un sólido “cauchoso”: en efecto, más arriba de esta temperatura las partes amorfas de la muestra pueden moverse, lo que da al sólido este comportamiento “cauchoso”. A una temperatura más alta, se puede observar la fusión que conduce a un líquido.

La teoría dice que la relación de la temperatura media y la final es de 1.5, en el caso de los almidones nativos la temperatura media está muy cerca de la temperatura de gelatinización y así es muy difícil de observar. (15)

El fenómeno de transición vítrea tiene una gran importancia para el fenómeno de retrogradación. En efecto, se considera que hay dos etapas en todos los fenómenos de cristalización, siendo estas:

- La nucleación: los ladrillos elementales de los cristales se forman. En el caso del almidón, corresponde a la formación de las dobles hélices. La velocidad de esta etapa es máxima a una temperatura baja, cerca de la temperatura media.
- La propagación: esta etapa corresponde al crecimiento de los cristales elementales. Ocurre únicamente si estos cristales elementarios pueden moverse para alinearse, es decir a una temperatura superior a la media. La velocidad de esta etapa es máxima a una temperatura cerca de la final. (15)

La velocidad de cristalización es un compromiso en estas dos velocidades, es máxima entre la temperatura media y la final. Así, para facilitar la cristalización, la mejor manera es utilizar ciclos de enfriamiento (a una temperatura cerca de la media, para favorecer la nucleación) y calentamiento (a una temperatura cerca de la final, para favorecer la propagación). Este proceso es utilizado para hacer un almidón muy retrogradado que puede ser considerado como fibra alimenticia. (3)

h) Funcionalidad de los almidones. El uso de almidones como espesantes en alimentos pasteurizados o esterilizados requiere que los almidones sean estables a las condiciones de procesamiento: es decir que mantengan su poder ligante aún cuando estén sometidos a fuertes esfuerzos mecánicos, altas temperaturas o bajo pH. A estos requerimientos se añaden, en el caso de los productos congelados, una buena resistencia a la congelación o ciertas características específicas de textura. (3)

El poder ligante es un requerimiento importante cuando se usa los almidones como espesantes, mientras mayor sea el poder ligante, hará falta una concentración menor de almidón para alcanzar una consistencia dada.

Otro criterio importante es la estabilidad de la viscosidad durante el procesamiento: el almidón deberá mantener su viscosidad durante los diferentes tratamientos térmicos o mecánicos que sufre la muestra durante el procesamiento. (3)

Además en caso en que la cocción o pasteurización tengan lugar en intercambiadores de superficie raspada, el producto es sometido a fuertes esfuerzos cortantes que ocasionan caídas bruscas de viscosidad. La caída de viscosidad es más importante cuando la acidez del producto es elevada. A estas exigencias se suma una buena estabilidad a la congelación para el caso de productos congelados y ciertos requerimientos de textura especialmente en el caso de las salsas. (3)

i) Viscoamilograma Brabender. Este es un método bastante simple y muy utilizado, permite simular el comportamiento del almidón durante la cocción y el enfriamiento. A medida que el tratamiento térmico es más fuerte o que el producto es sometido a esfuerzos cortantes, se producen pérdidas considerables en la viscosidad del producto. (8)

El amilograma Brabender indica la temperatura en que el almidón empieza a ligar, que tan estable es la viscosidad en el período de agitación a temperatura constante de 90°C y como se comporta el almidón durante el enfriamiento. Un almidón ideal es aquel que una vez que alcanzó su máximo de viscosidad, lo mantiene estable durante la agitación y el enfriamiento, de otra forma será necesario reajustar la consistencia mediante una sobredosificación del almidón en el producto. (8)

Una desventaja de este método es que el tratamiento mecánico que sufre el gel de almidón, no es representativo de los fuertes esfuerzos cortantes que tienen lugar en un intercambiador de superficie raspada. (8)

j) Calorimetría diferencial de barrido. La calorimetría diferencial de barrido es una técnica rápida y flexible que da información sobre el comportamiento de gelatinización, retrogradación y que permite estimar el contenido de amilosa de los almidones. También se observa la fusión del complejo de inclusión que forma la amilosa con pequeñas cantidades de lípidos presentes. (3)

k) Estabilidad a la congelación. Los productos congelados (salsas, postres) pueden presentar sinéresis es decir exudación de agua. Este fenómeno es más importante cuando se rompe la cadena de frío y el producto se halla sometido a varios ciclos de congelación y descongelación.

En este método, una suspensión de almidón de concentración dada y el gel resultante es repartida en cantidades conocidas e iguales en varios tubos que serán sometidos de cero hasta cinco ciclos de congelación -40°C . Luego de cada ciclo, la cantidad de agua exudada es separada por centrifugación y expresada como porcentaje de la cantidad total de gel pesada en cada tubo. (3)

Un almidón es considerado estable a la congelación si no existe incremento en el porcentaje de agua exudada a medida que avanza el número de ciclos de congelación. (3)

l) Textura. Ciertas aplicaciones específicas, en particular las salsas, tienen exigencias particulares en cuanto a la textura, esta no debe de ser ni gelatinosa ni filante. En las empresas de alimentos se utiliza paneles de evaluación sensorial y su correlación con métodos analíticos (reómetro, analizador de textura tipo Instron, TAXT2, etc.) que permiten respuestas rápidas y confiables. (17)

m) Efecto de la temperatura. Todos los granos de almidón de una sola fuente vegetal no se empastan a la misma temperatura. Entre más grandes los granos, tienden a hincharse a menores temperaturas. El intervalo en la temperatura de gelatinización varía con los diferentes almidones. El aumento en la viscosidad al calentarse una suspensión de granos de almidón de agua, es una forma conveniente de evaluar el progreso del empastamiento. (5)

La viscosidad de una suspensión de almidón de yuca comienza a aumentar a menor temperatura, una suspensión de granos de almidón de yuca continúa espesando por arriba de los 85°C (185°F) aunque el calentamiento adicional causa una disminución en la viscosidad. (3)

Los granos de almidón de yuca cocidos, son elásticos y fácilmente deformados. Esto da a la pasta cocida una cohesividad y extensividad observadas en las pastas espesadas con trigo o almidón de maíz. Una vez que los granos de almidón se han empastado completamente, debe evitarse el movimiento innecesario. La manipulación en

este estado rompe los gránulos hinchados en fragmentos más pequeños y adelgaza la pasta. (5)

n) Hinchazón desigual o grumos. Cuando el almidón se utiliza como un agente espesante, se prefiere un líquido engrosado sin grumos o masas. Primero deben separarse los granos de almidón antes de calentarse en el líquido. Esto puede realizarse dispersándolos en una pequeña cantidad del líquido frío. Los gránulos del almidón tienen una carga negativa y por eso se repelen una o otra en el agua. (5)

Separar los granos de almidón en sólo el primer paso para conseguir una pasta suave espesada por el almidón. Es igualmente importante que cada grano de almidón se hinche independientemente de cualquier otro grano. Cuando los granos de almidón secos se colocan en agua fría, los granos permanecen suspendidos en tanto el aguase mantiene agitada. Los granos temporalmente suspendidos se asientan y se agrupan cuando se deja de revolver. El calentamiento debe ser lento, de manera que la suspensión pueda revolverse lo suficientemente rápido para mantener los granos de almidón suspendidos y la temperatura uniforme. En esta forma, ningún grano capta más del agua que comparte, ni menos. De otro modo, los granos se hincharán desigualmente y algunos se adherirán. El resultado son los grumos. (5)

ñ) Retrogradación de la amilasa. Las moléculas de amilosa que se han escapado de los granos empastados se dispersan en el líquido de una pasta cocida mientras permanezca caliente. La pasta caliente retiene su capacidad para fluir, o sea que es viscosa y no rígida. Cuando la pasta se enfría, la energía cinética ya no es tan grande para contrarrestar la marcada tendencia de las moléculas de amilosa para reasociarse. Las moléculas de amilosa se vuelven a fijar a las demás y a las moléculas de almidón en los extremos externos de los gránulos. Así se unen los gránulos de almidón hinchado en una red. Esto ocurre siempre que los granos hinchados se encuentran relativamente cercanos y que hayan escapado bastantes moléculas de amilosa de los gránulos. (5)

La recristalización del almidón gelatinizado se denomina “retrogradación”. No todas las mezclas cocidas espesadas con almidón exhiben este fenómeno. (3)

o) Disposición del agua en el gel. Parte del agua aún fuera de los gránulos hinchados en una pasta de almidón cocida y fría, se une firmemente a las moléculas de almidón de la superficie de los granos hinchados y a las moléculas de amilosa que

enlazan a los granos hinchados. Parte del agua restante está unida a la primera capa de agua firmemente enlazada. El volumen del agua en la pasta cocida es libre, encontrándose en los espacios formados por la red de gránulos de almidón hinchados y por la amilosa precipitada. Cuando se corta un gel o si se le deja envejecer, parte del líquido se moviliza desde los intersticios. Esta fuga de líquido de un gel se conoce con el nombre de “sinéresis”. (5)

III. JUSTIFICACIÓN

El informe de la FAO para el año 2003 indica que en Guatemala, el área cosechada de la yuca fue de 5,000 hectáreas, con una producción de 16,000 TM y con un rendimiento de 3,251 kilogramos/hectárea; esta producción se destina para el consumo humano, para elaborar de almidón, y otros usos en diferentes industrias del país.

Guatemala posee una alta vocación para el cultivo de la yuca, dado que los coeficientes climáticos responden a los requerimientos de esta planta; pero hay pérdidas postcosecha debido a que es un producto de alta perecibilidad y es un producto voluminoso por su alto contenido de agua.

Una de las alternativas para evitar estas pérdidas postcosecha es procesar la yuca y obtener su almidón, el cual tiene una gran demanda en el área alimenticia (espesante, relleno, aglutinante, etc.); en la industria papelera y cartonera; adhesivos; textiles y en la industria química, pudiéndose utilizar dicho almidón en las industrias nacionales y/o exportarlo.

Por lo tanto, para la industria es necesario llevar a cabo una investigación sobre la extracción del almidón de yuca obteniendo rendimientos adecuados y evaluar sus propiedades funcionales. Con ello se mejorará la comercialización de dicho producto conservando los recursos naturales, produciendo productos biodegradables que alivien la presión sobre el medio ambiente y disminuyendo excedentes agrícolas.

IV. OBJETIVOS

A. General

Extracción del almidón de la raíz del tubérculo de yuca y su caracterización físico-química.

B. Específicos

1. Establecer un procesamiento de extracción de almidón de yuca.
2. Determinar la composición química del almidón de yuca.
3. Determinar las características y propiedades funcionales del almidón de yuca.

V. HIPÓTESIS

Mediante un correcto procesamiento de la raíz del tubérculo de yuca es posible obtener un almidón con características, propiedades funcionales y rendimientos adecuados, que auguren un producto inocuo y económico para su uso en la industria de alimentos.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

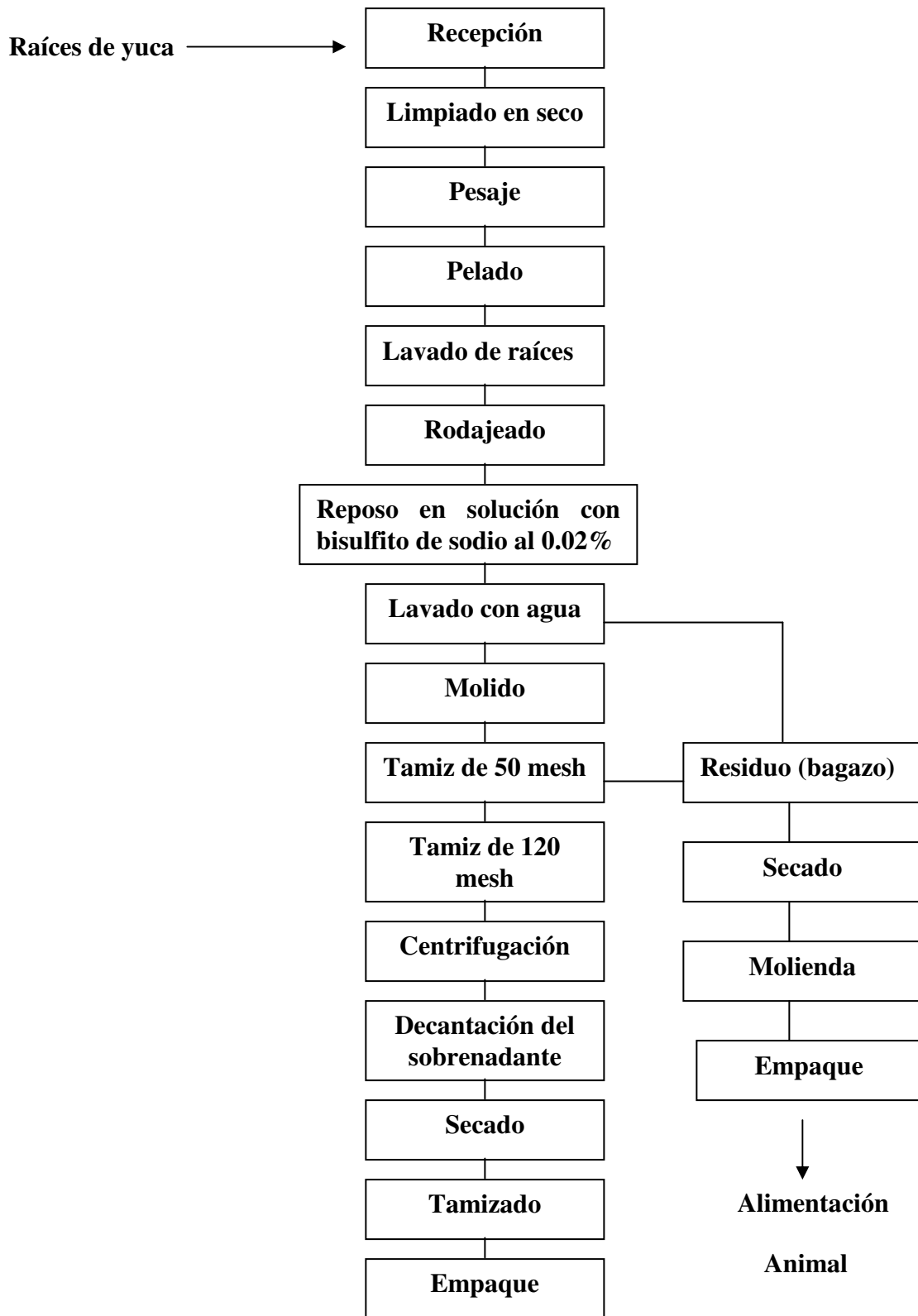
A. Extracción del almidón de yuca.

1. Materia prima. Se va a utilizar como muestra yuca proveniente del Municipio de Sansare, del Departamento de Progreso, con una clasificación taxonómica siguiente: género Manihot, especie Manihot Esculenta.

2. Extracción del almidón. El almidón de yuca se extrae de las raíces tuberosas de yuca a través de un proceso de molienda húmeda que emplea trituración, tamizado y centrifugación para separar el almidón purificado de la fibra y proteína.

Se toman 50 libras de las raíces tuberosas de yuca se pelan (quitar la cáscara), luego se lavan con suficiente agua y se rodajea, posteriormente se sumergen en una solución de bisulfito de sodio al 0.2% por 30 minutos para evitar pardeamiento enzimático y además actúa como bactericida. El agua de remojo se decanta y las piezas se lavan varias veces con agua a temperatura ambiente para remover el material mucilaginoso. Posteriormente son molidos los pedazos de yuca, utilizando una licuadora industrial y luego se pasan por un tamiz de 50 mallas (50 mesh). El residuo se mezcla con agua adicional, nuevamente se licua y se tamiza. El material que pasa a través del tamiz de 50 mallas se pasa luego por un tamiz más fino de 120 mallas. El almidón se remueve asentándolo con una centrífuga de tazón sólido, la capa en la superficie del tazón se remueve con una espátula y el almidón restante se suspende en agua fría y se centrifuga por segunda vez. Luego el almidón se seca con una corriente de aire tibio a 37°C, posteriormente se tamiza y por último se pesa para obtener rendimientos. (4,10)

Diagrama No. 2. Extracción del almidón de yuca



Métodos

Se realizaron los siguientes análisis para la caracterización del almidón de yuca:

1. Análisis proximal de la yuca y del almidón de yuca

- a. Humedad (AOAC 14.004)
- b. Cenizas (AOAC 14.006)
- c. Grasa (AOAC 14.034)
- d. Fibra cruda (AOAC 7.070)
- e. Carbohidratos (por diferencia)
- f. Calorías (se determinará el contenido de calorías por método matemático)
- g. Proteínas (AOAC 14.027) (14)

2. Características físico-químicas

- a. Tamaño del gránulo
 - 1) Se pesan 15 gramos de muestra y se hacen pasar por una serie de sarandas con diferentes mesh.
 - 2) Se pesa la cantidad de almidón que ha pasado por cada saranda.
 - 3) Cuando se tenga el 90% del peso inicial se determina la medida del mesh (19)
- b. Apariencia microscópica (Microscopio binocular Biolux-12, con magnificación 4X, 10X y 20X)
 - 1) Se coloca en el portaobjetos una pequeña cantidad de almidón de yuca
 - 2) Se agrega una gota de alcohol y luego una gota de glicerina-agua
 - 3) Se coloca el cubreobjetos
 - 4) Se examina la muestra hasta una amplificación de 400X
 - 5) Se agrega una gota de yodo diluido
 - 6) Se observa y se anota lo observado (19)
- c. Viscosidad (Viscosímetro Brookfield, modelo LVT, 60 rpm)
 - 1) Se hace una solución al 5% (peso/volumen)
 - 2) Se calienta a 30°C con agitación
 - 3) Se mide la viscosidad
 - 4) Se repiten los pasos 2 y 3, sólo que con las siguientes temperaturas: 40, 50, 60, 70, 80 y 90°C
 - 5) Se elabora un amilograma y se determina el punto de gelatinización. (19)
- d. Solubilidad (Norma Oficial para Almidón de Yuca, Costa Rica)
 - 1) Se pesan 10 gramos de almidón y se colocan en un matraz balón.

- 2) Se añaden 100 ml de agua destilada recientemente hervida, luego se deja a una temperatura ambiente durante una hora agitando de vez en cuando.
- 3) Se filtra, el filtrado se coloca en una cápsula a peso constante, se evapora el líquido y finalmente se pone a peso constante secando a 100-100°C.
- 4) Luego se enfría y se pesa. (2)

e. Acidez (Norma Oficial para Almidón de Yuca, Costa Rica)

- 1) Se pesan alrededor de 20 gramos de almidón y se colocan en un matraz erlenmeyer de 300 ml
- 2) Se añaden 100 ml de agua destilada, luego se agita durante 30 minutos
- 3) Se agregan 3 gotas de rojo de metilo y se titula con solución de 0.1 N de hidróxido de sodio. (2)

f. Densidad

- 1) Pesar una probeta vacía, en una balanza analítica.
- 2) Se coloca almidón de yuca en la probeta hasta un volumen determinado
- 3) Se pesa la probeta con el almidón
- 4) Se divide el peso del almidón de yuca dentro del volumen de la probeta que se lleno (19)

g. Determinación de amilosa y amilopectina (Método colorimétrico de Samec y Mayer; 1983).

- 1) Se pesan 100 mg de almidón en un erlenmeyer
- 2) Se agrega 1 ml de etanol al 95% y 9 ml de hidróxido de sodio 1 N
- 3) Se calienta por 10 minutos en baño maría con agua hirviendo
- 4) Se deja enfriar y se transfiere con varios lavados a un balón de 100 ml y se afora
- 5) Se toman 5 ml de la solución obtenida y se colocan en un balón aforado de 100 ml
- 6) Se agrega 1 ml de ácido acético 1 N y 2 ml de la solución de yoduro de potasio (0.2 de yodo y 2 g de yoduro de potasio) y se afora
- 7) Se mide la absorbancia (19)

h. Absorción de agua

- 1) Se pesan 0.5 gramos de almidón
- 2) Se le agregan 4 ml de agua
- 3) Se agita la muestra vigorosamente durante 30 seg
- 4) Luego la suspensión se deja asentar por 10 minutos y se centrifuga por 25 minutos a 2300 rev/min
- 5) Se extrae con una pipeta graduada, el líquido sobrenadante, y se anota la lectura para obtener el volumen del líquido absorbido por el almidón. (4)

i. Absorción de grasa

- 1) Se pesan 0.5 gramos de almidón
- 2) Se le agregan 3 ml de aceite de maíz
- 3) Se agita durante un minuto la muestra para dispersar la muestra de aceite
- 4) Se deja reposar por un período de 30 minutos y luego se centrifuga por un periodo de 25 minutos a 2300 rev/min
- 5) Se determina la grasa absorbida por la diferencia de volumen de la lectura de aceite agregado con la del volumen extraído con una pipeta graduada después de centrifugar. (4)

3. Características funcionales

a. Estabilidad a diferentes pH

- 1) Se hace una solución con pH 3.0 con ácido cítrico
- 2) Se agrega almidón para realizar una solución al 5% (peso/volumen)
- 3) Se calienta a 95°C con agitación
- 4) Se mide la viscosidad
- 5) Se repiten los pasos del 1 al 4 con pH de 4, 5, 6 y 7
- 6) Se elabora un amilograma (19)

b. Estabilidad a la congelación (Método modificado de Charlotte, A. And Ryang, H.; 1992)

- 1) Se utiliza una suspensión de almidón de concentración dada, la cual es cocinada
- 2) El gel resultante se reparte en cantidades conocidas e iguales en varios tubos que son sometidos de cero hasta cinco ciclos de congelación a -40°C
- 3) Luego de cada ciclo, la cantidad de agua exudada es separada por centrifugación y expresada como porcentaje de la cantidad total de gel pesada en cada tubo. (19)

c. Retrogradación

- 1) Se hace una solución al 5% (peso/volumen)
- 2) Se calienta a temperatura de gelatinización con agitación
- 3) Luego se enfría
- 4) Se mide el líquido que se separó del gel formado a los tiempos: 24, 48, 72 y 96 horas. (19)

d. Capacidad de formar película

- 1) Se prepara una solución de almidón al 5% (peso/volumen)
- 2) Se calienta hasta su punto de gelatinización
- 3) Esta se coloca sobre un vidrio reloj

- 4) Se deja secar el vidrio reloj
- 5) Se observa si hubo formación de película (19)

e. Formación y estabilidad de espuma

- 1) Se prepara una solución de almidón al 5% (peso/volumen)
- 2) Se agita durante 6 minutos y luego se vierte en una probeta graduada
- 3) Se mide el volumen y se anotan las variaciones de éste a los 5, 10, 15, 20, 25 y 30 minutos. (14)

f. Claridad de la gel

- 1) Se preparan 200 ml de una solución de almidón al 5% (peso/volumen)
- 2) Se calienta la solución con agitación hasta llegar a su punto de gelatinización
- 3) Se preparan 200 ml de una solución de almidón de maíz al 5% p/v
- 4) Se calienta la solución con agitación hasta llegar a su punto de gelatinización
- 5) Se dejan enfriar hasta que lleguen a temperatura ambiente
- 6) Se compara el color del gel del almidón de yuca con el del almidón de maíz (19)

g. Retrogradación utilizando diferentes azúcares y sales

- 1) Se toma una muestra de azúcares y/o sales al 10% p/v
- 2) Se toma una muestra de almidón de yuca al 5% p/v
- 3) Se calienta hasta el punto de gelatinización con agitación
- 4) Se enfría hasta temperatura de gelatinización
- 5) Se mide líquido que se separa del gel a los siguientes tiempos: 24, 48, 72 y 96 horas (19)

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La parte experimental se llevó a cabo con dos variedades de raíz de yuca amarga, una de ellas conocida como Tapachulteca la cual se utiliza para la extracción del almidón y la otra Colombiana la cual se utiliza para el consumo humano. Estas variedades se cultivan en el departamento del Progreso Guastatoya.

Se tomaron muestras con un tiempo de cultivo de 11 y 18 meses, para las dos variedades.

La determinación del contenido de almidón de yuca para las dos variedades se realizó tomando la raíz de la yuca sin cáscara.

Cuadro No. 6 Resultados de la extracción del almidón de yuca para las variedades Amargas Tapachulteca y Colombiana

Variedad amarga y tiempo de cosecha	Peso inicial bruto (libras)	Peso cáscara (libras)	Peso pulpa (libras)	Temperatura (°C)	Peso bagazo seco (libras)	Peso almidón seco (libras)	% Almidón obtenido
Tapachulteca 11 meses Amarga	50	8.43	41.57	22	7.16	7.26	17.46
Tapachulteca 11 meses Amarga	50	8.80	41.20	22	7.00	7.16	17.39
Tapachulteca 18 meses Amarga	50	9.86	40.14	22	7.98	8.28	20.63
Tapachulteca 18 meses Amarga	50	9.51	40.49	22	8.01	8.38	20.70
Colombiana 11 meses Amarga	50	8.20	41.80	22	5.92	6.13	14.66
Colombiana 11 meses Amarga	50	8.88	41.12	22	5.78	6.09	14.82
Colombiana 18 meses Amarga	50	9.12	40.88	22	7.16	6.81	16.66
Colombiana 18 meses Amarga	50	9.36	40.64	22	7.03	6.74	16.58

La cosecha para la industria del almidón de yuca se efectúa cuando se produce el máximo rendimiento de las raíces, los granos de almidón son más grandes y el porcentaje de materia seca total es más elevado; situación que ocurre a los 18 meses de cultivo, lo cual se observa en la tabla de resultados anteriormente descrita.

La variedad tapachulteca es la que dio mejores resultados en rendimiento de almidón de yuca (20.67%), tal como en la práctica sucede ya que los agricultores es la variedad que usan para la extracción del almidón, mientras que la variedad colombiana se lleva a los mercados nacionales para el consumo humano y el rendimiento obtenido de almidón es menor.

El almidón de la variedad tapachulteca se utiliza como adhesivo en la industria de la cohetería, industria de papel, industria textil, etc. y en la industria alimenticia para espesar, rellenar, compactar, estabilizar, etc.

También es necesario mencionar que si se tuvieran las condiciones ambientales adecuadas (agua, luz, temperatura y viento), el tiempo de cosecha se reduciría a 12 meses y ya no ha 18 meses que es el tiempo habitual.

El bagazo que se obtiene en el proceso de extracción del almidón de yuca se utiliza como un sub-producto apto para el consumo animal.

El método utilizado para la extracción del almidón es el que se utiliza artesalmente en el departamento del Progreso de Guatemala, obteniendo aceptables resultados de rendimiento de almidón de yuca, el cual es alrededor del 20%.

El costo del quintal de almidón de yuca es de Q 250.00 y haciendo una comparación con el precio del quintal del almidón de maíz el cual es de Q 200.00, se establece que éste es más caro, pero tiene mejores propiedades dependiendo del uso que se le quiera dar en la industria.

Fotos del equipo que se utiliza para la extracción del almidón de yuca

Figura No. 1 Lavado y descascarado de la yuca fresca



Figura No. 2 Corte y molido



Figura No. 3 Tamizado



Figura No. 4 Serpentín



Figura No. 5 Pilas de recolección de agua



Figura No. 6 Centrífuga



Figura No. 7 Secado al sol



Figura No. 8 Secadora industrial



Figura No. 9 Chimenea para salida de vapor



Figura No. 10 Equipo auxiliar para agilizar secado



Figura No. 11 Bagazo



Figura No. 12 Sacos con almidón de yuca



Figura No. 13 Pulverizadora de bagazo



Figura No. 14 Mezcladora



Figura No. 15 Molido y ensacado



1. Análisis proximal de la raíz de yuca y del almidón de yuca.

Cuadro No. 7 Análisis proximal de la raíz de yuca fresca

Variedad amarga	% Humedad		% Cenizas		% Proteína		% Grasa		% Fibra cruda		% Carbohidratos	Calorías
	X	+/- SD	X	+/- SD	X	+/- SD	X	+/- SD	X	+/- SD		
Tapachulteca 11 meses	65.35	0.12	0.97	0.08	2.10	0.10	0.51	0.013	3.04	0.06	28.02	137.30
Tapachulteca 18 meses	60.62	0.14	0.88	0.1	2.45	0.05	0.60	0.020	3.18	0.08	32.27	157.00
Colombiana 11 meses	71.20	0.10	1.14	0.05	2.10	0.10	0.71	0.030	2.82	0.10	22.11	113.77
Colombiana 18 meses	66.71	0.10	0.93	0.08	2.45	0.02	0.63	0.015	3.34	0.10	25.86	133.00
Raíz de yuca amarga *	68.06		2.66		2.71		0.58		3.09		22.90	107.66

La raíz de la yuca es fundamentalmente rica en carbohidratos, con base a los resultados obtenidos, se puede observar que la variedad tapachulteca sus valores son más altos en comparación con la variedad colombiana, con respecto a la proteína y grasa los valores obtenidos para las dos variedades son bajos lo cual lo hace un alimento menos nutritivo que el arroz, el maíz u otros cereales.

Las dos variedades presentan un alto contenido de fibra, en comparación con la literatura, lo cual se puede deber a las variedades analizadas, estableciendo además que las variedades con 18 meses de cultivo su cantidad de fibra es mayor en comparación con las 11 meses de cultivo.

El resultado del análisis proximal tomando las fracciones de humedad, ceniza, proteína, grasa y carbohidratos, fueron comparados con literatura y los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites establecidos.

El contenido de humedad es mayor para las variedades con 11 meses de cultivo en comparación con las de 18 meses de cultivo, lo cual se debe al que el porcentaje de materia seca es menor y las raíces de yuca no han terminado de desarrollar para dar su máximo rendimiento.

El contenido de calorías de la raíz de la yuca obtenido para las dos variedades es inferior a la de los cereales (maíz, arroz); pero es superior al de otras raíces tuberosas (papa, batata). Se puede establecer que las calorías que proporciona la raíz de la yuca son suficientes para considerar la importancia de la yuca como recurso tropical actual y futuro para hacer frente a la escasez de cereales, tanto en la alimentación humana y animal.

La variedad tapachulteca proporciona valores más altos de calorías en comparación con la variedad colombiana y la variedad tapachulteca con 18 meses de cultivo es la que represento un valor más alto en comparación con la de 11 meses de cultivo.

Cuadro No. 8 Análisis proximal del almidón de yuca

Variedad Amarga	% Humedad		% Cenizas		% Proteína		% Grasa		% Fibra cruda	% Carbohidratos	Calorías
	X	+/- SD	X	+/- SD	X	+/- SD	X	+/- SD			
Tapachulteca 11 meses	10.99	0.14	0.38	0.10	0.34	0.04	0.15	0.02	0	88.14	355.30
Tapachulteca 18 meses	10.82	0.20	0.40	0.10	0.34	0.01	0.27	0.02	0	88.17	355.40
Colombiana 11 meses	11.63	0.,16	0.47	0.10	0.35	0.10	0.19	0.01	0	87.36	352.55
Colombiana 18 meses	11.55	0.15	0.45	0.04	0.35	0.06	0.23	0.03	0	87.42	353.15
Almidón de yuca °	15		0.20		0.80		0.28		0.10	83.62	340.20

El sistema de extracción del almidón de yuca fue eficiente, lo cual lo indica el resultado de fibra cruda. Los resultados del análisis proximal realizado tomando las fracciones de humedad, ceniza, proteína, grasa y carbohidratos, fueron comparados con literatura y los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites establecidos.

Los carbohidratos constituyen casi un 90% del total de los nutrientes de las raíces de la yuca, en donde alrededor de un 80% consiste en almidón y un 20% en carbohidratos de estructura más simple (maltosa, fructosa), así como hemicelulosa y celulosa.

La variedad colombiana presentó una cantidad de cenizas más alta que la variedad tapachulteca lo cual se pudo haber debido a impurezas adheridas a la cubierta de la raíz, de difícil eliminación en el proceso de lavado inicial y así como obtenidas durante el proceso de extracción del almidón.

El porcentaje de proteína obtenido para las dos variedades, no muestra diferencia significativa, así como tampoco en el tiempo de cultivo 11 y 18 meses.

La variedad tapachulteca (18 meses) es la que muestra un mayor valor en el contenido de grasa en comparación con la tapachulteca de 11 meses y la colombiana (11 y 18 meses).

Las dos variedades analizadas muestran un similar contenido de calorías, tanto para 11 como para 18 meses de cultivo.

2. Resultados de las características físico-químicas

a. Tamaño del gránulo (Granulometría)

Cuadro No. 9 Granulometría de la variedad Tapachulteca 11 meses

MESH	(% porcentaje)
20	0.14
60	5.09
80	1.69
100	0.66
325	2.42
+ 325	90.00

Cuadro No. 10 Granulometría de la variedad Tapachulteca 18 meses

MESH	(% porcentaje)
20	0
60	7.84
80	2.23
100	0.94
325	2.63
+ 325	86.36

Cuadro No. 11 Granulometría de la variedad Colombiana 11 meses

MESH	(% porcentaje)
20	0
60	5.09
80	1.62
100	0.86
325	2.93
+ 325	89.50

Cuadro No. 12 Granulometría de la variedad Colombiana 18 meses

MESH	(% porcentaje)
20	0
60	5.94
80	1.73
100	0.82
325	2.88
+ 325	88.63

En las dos variedades (tapachulteca y colombiana) y en los dos tiempos de cultivo (11 y 18 meses) el mayor porcentaje de partículas se encontraban en el mesh de +325, lo cual indica que el tamaño de la partícula es pequeño y es adecuado para su uso industrial o alimenticio, además el valor estándar de granulometría para los almidones de uso alimenticio es con un superior a 77 micrones (200 mesh).

b. Apariencia microscópica

Figura No. 16 Apariencia microscópica del almidón de yuca de variedad tapachulteca

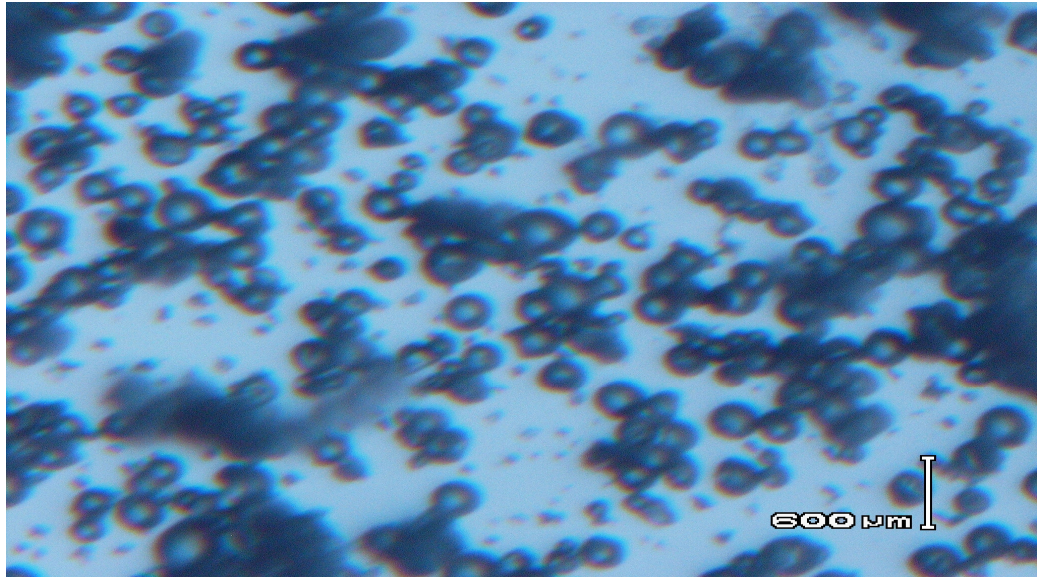
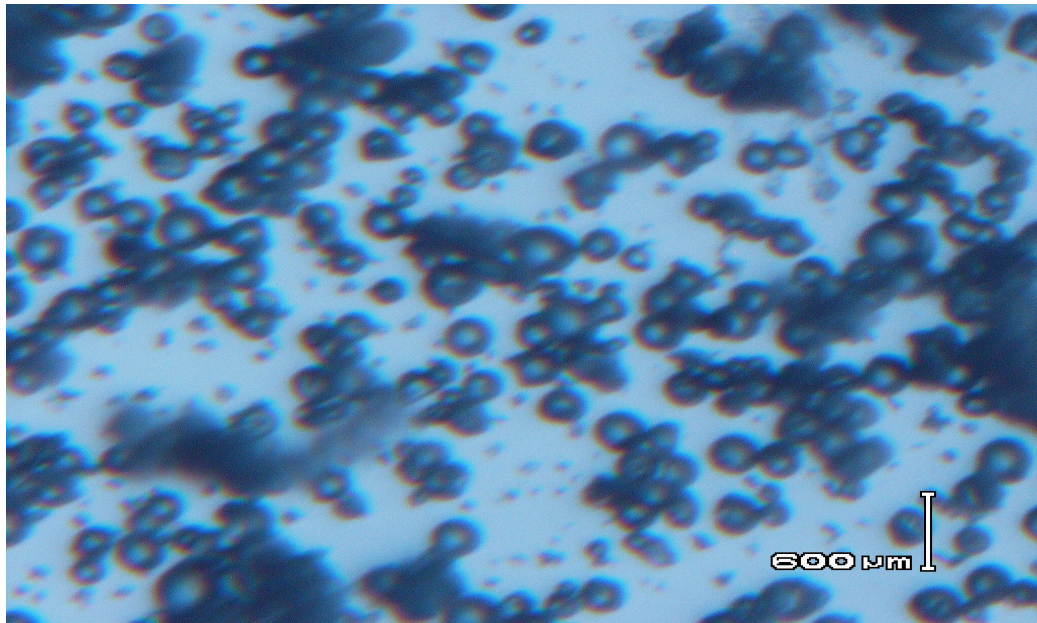


Figura No. 17 Apariencia microscópica del almidón de yuca de variedad colombiana

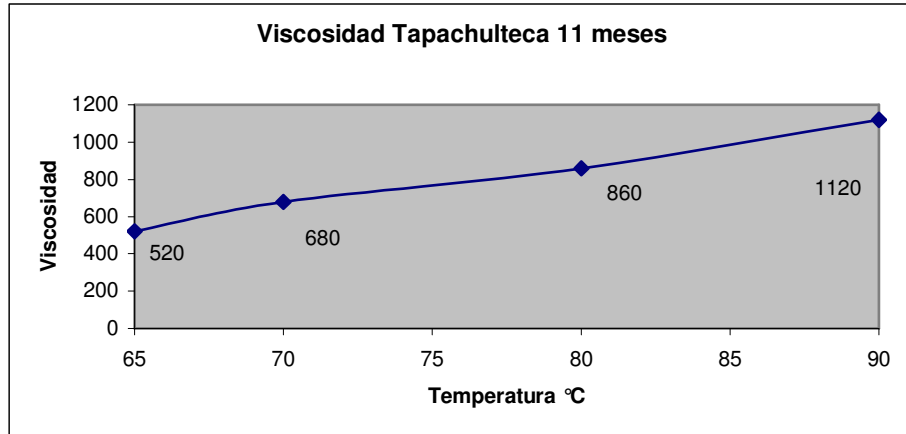


Se utilizó una solución de yodo en yoduro de potasio al 0.1% para la tinción del almidón de yuca. El almidón de yuca aparece al microscopio, compuesto de diminutas estructuras individuales llamadas “gránulos” los cuales son redondos.

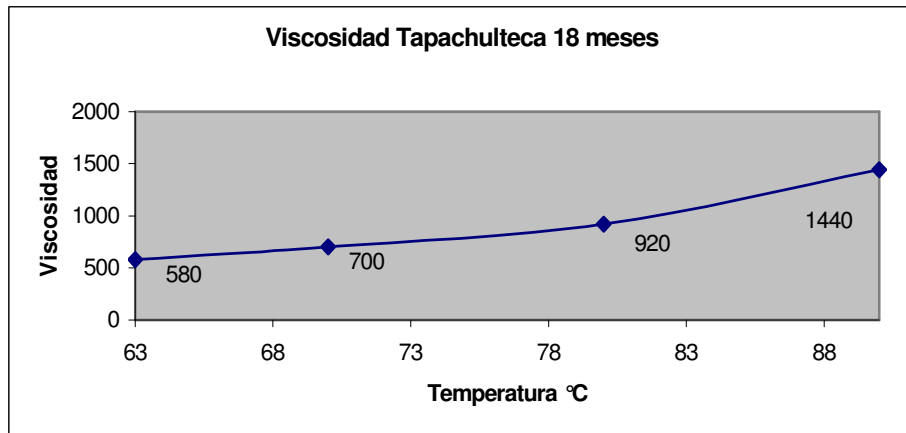
Las dos variedades de almidón de yuca (tapachulteca y colombiana) analizadas tienen la misma apariencia microscópica.

c. Viscosidad

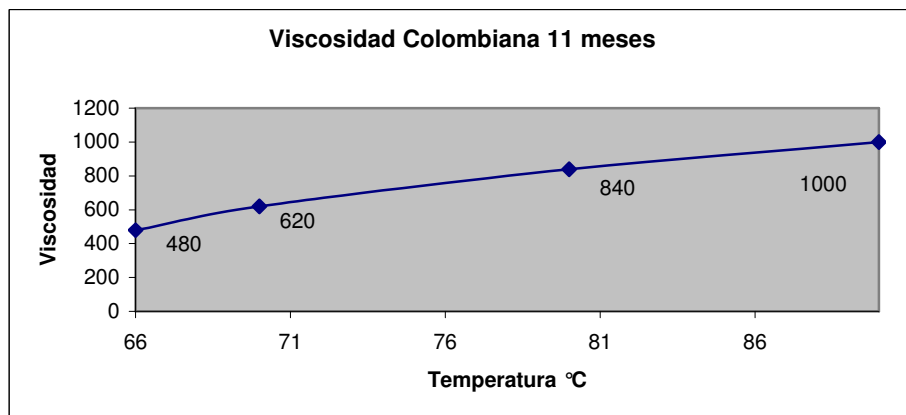
Gráfica No. 1 Viscosidad Tapachulteca 11 meses



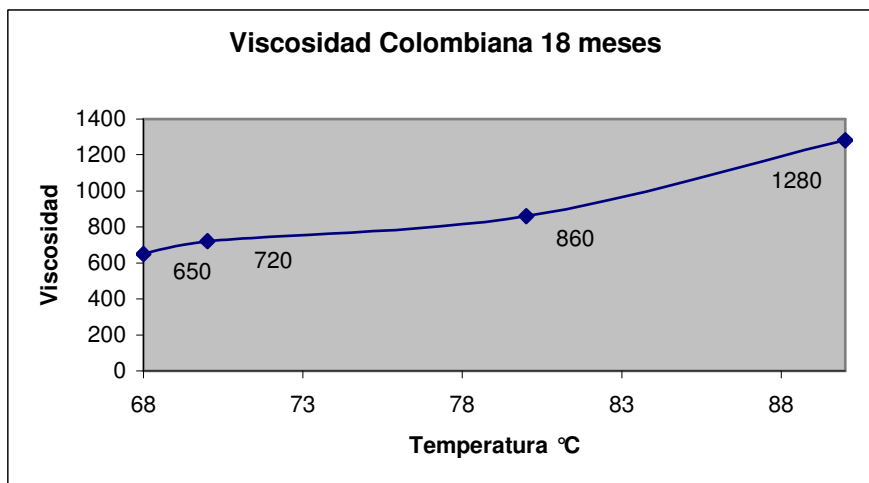
Gráfica No. 2 Viscosidad Tapachulteca 18 meses



Gráfica No. 3 Viscosidad Colombiana 11 meses



Gráfica No. 4 Viscosidad Colombiana 18 meses



Los amilogramas elaborados anteriormente nos indican la temperatura en la que el almidón empieza a ligar, su estabilidad en la viscosidad en el período de agitación a temperatura constante de 90°C y como se comporta el almidón durante el enfriamiento.

El almidón de yuca de variedad tapachulteca tiene una temperatura de gelatinización de 65°C (11 meses de cultivo) y de 63°C (18 meses de cultivo); para el almidón de yuca de variedad colombiana su temperatura de gelatinización fue de 66°C (11 meses de cultivo) y de 68°C para (18 meses de cultivo). La gelatinización consiste en la pérdida de la estructura cristalina, también se le conoce como fusión.

Para las dos variedades de almidón de yuca después de los 90°C el gránulo se desintegra liberando los polímeros que conforman al almidón, dando lugar a que la viscosidad descienda bruscamente.

Los gránulos de almidón de yuca cocido son elásticos y fácilmente deformados, lo que le da a la pasta cocida cohesividad y extensividad, posteriormente debe evitarse el movimiento innecesario debido a que los gránulos hinchados se pueden romper en fragmentos más pequeños y adelgaza la pasta.

La variedad tapachulteca presenta una mayor viscosidad en comparación con la variedad colombiana, lo cual indica que tiene una mayor facilidad de hinchamiento y se dará más resistencia a la retrogradación y sinéresis en los productos alimenticios; además el mayor nivel de viscosidad en el almidón de yuca de la variedad tapachulteca es un indicativo de la fortaleza de las pasta.

Las dos variedades de almidón de yuca fueron sometidas a una agitación cuando llegaron a una temperatura de 90°C, observando que pierden su estabilidad, disminuyendo su viscosidad, lo cual indica que es un almidón débil a la agitación mecánica cuando se haya a altas temperaturas.

Luego de enfriar la pasta a 50°C para las dos variedades de almidón no se observó ninguna variación aparente en la viscosidad de la suspensión.

d. Solubilidad

Cuadro No. 13 Solubilidad máxima del almidón de yuca

Variedad	Solubilidad máximo (%)
Tapachulteca 11 meses	0.50
Tapachulteca 18 meses	0.59
Colombiana 11 meses	0.42
Colombiana 18 meses	0.52

La variedad de almidón de yuca tapachulteca de 18 meses de cultivo tuvo el nivel más alto de solubilidad en agua, con un valor de 0.5940% en comparación con la variedad colombiana (11 y 18 meses de cultivo) y la variedad tapachulteca de 11 meses de cultivo.

La solubilidad depende de la conformación de la molécula, la cantidad de puentes de hidrógeno y la cantidad de grupos hidroxilo o no comprometidos en la molécula.

Los datos de literatura indican que la solubilidad máxima del almidón de yuca se encuentra dentro del un rango de 0.40% a 0.80%, estableciendo que las variedades analizadas se encuentran dentro de los límites establecidos.

e. Acidez extraíble

Cuadro No. 14 Acidez extraíble del almidón de yuca

Variedad	Acidez (meq. de ácido láctico/g. de almidón)
Tapachulteca 11 meses	6.57×10^{-3}
Tapachulteca 18 meses	5.47×10^{-3}
Colombiana 11 meses	9.49×10^{-3}
Colombiana 18 meses	8.75×10^{-3}

Las muestras con menores pH mostraron una mayor acidez, en los datos obtenidos se puede observar que las variedades tanto tapachulteca como colombiana con 11 meses de cultivo muestran valores de acidez más alto que las variedades con 18 meses de cultivo.

Los valores obtenidos para las dos variedades se encuentran dentro del rango reportado en la literatura.

La acidez se estableció para determinar la presencia de ácidos orgánicos producidos para controlar la fermentación de los carbohidratos durante el proceso de extracción y según los datos obtenidos se concluye que es baja y que no va a causar problemas en la industria alimenticia.

f. Densidad

Cuadro No. 15 Densidad del almidón de yuca

Variedad	Densidad (gramos / mililitro)
Tapachulteca 11 meses	0.83
Tapachulteca 18 meses	0.87
Colombiana 11 meses	0.82
Colombiana 18 meses	0.83

La variedad tapachulteca con 18 meses de cultivo fue la que tuvo la densidad más alta con 0.87 g/ml., todos los valores resultantes para las dos variedades se encuentran dentro de los límites reportados en la literatura, la cual establece que los límites de densidad para el almidón de yuca es de 0.72 gramos/mililitro a 0.92 gramos/mililitro, por lo cual se concluye que las muestras analizadas se encuentran dentro de los límites establecidos.

El tamaño del gránulo del almidón de yuca oscila entre 7 a 30 μm , lo cual puede favorecer a que este absorba y retenga más agua en su molécula.

g. Determinación de amilosa y amilopectina

Cuadro No. 16 Determinación del % de amilosa y amilopectina

Variedad	% de Amilosa	% de Amilopectina
Tapachulteca 11 meses	18.61	81.39
Tapachulteca 18 meses	16.98	83.02
Colombiana 11 meses	19.23	80.77
Colombiana 18 meses	17.15	82.85

Según los resultados obtenidos se concluye que conforme las variedades tienen un menor contenido de amilosa estas tienen una viscosidad mayor, lo cual se puede observar en las gráficas de viscosidad obtenidas, además la amilosa determina la velocidad de retrogradación de la amilopectina, a pesar que las diferencias no son significativas.

Los valores de amilosa y amilopectina obtenidos para las dos variedades estudiadas se encuentran dentro del rango señalado por la literatura.

La amilosa, fracción lineal tiene una configuración helicoidal que le permite acomodar el yodo, en cambio la amilopectina, fracción ramificada, no tiene esta configuración y en consecuencia su adsorción de yodo es muy baja.

Además esta proporción de amilosa en el almidón de las raíces de yuca indica que es considerablemente digestible, sin necesidad de ningún tratamiento previo antes de ser ingerido por un ser humano o por un animal.

h. Absorción de agua

Cuadro No. 17 Absorción de agua

Variedad de yuca	Gramo de agua/gramo de almidón
Tapachulteca 18 meses	2.52
Tapachulteca 11 meses	2.31
Colombiana 18 meses	2.38
Colombiana 11 meses	2.22

La absorción de agua es importante en el hinchamiento y consistencia de los productos, así como en las aplicaciones de panadería.

La capacidad de absorción de agua en el proceso es muy importante y tiene implicaciones en la viscosidad.

i. Absorción de grasa

Cuadro No. 18 Absorción de grasa

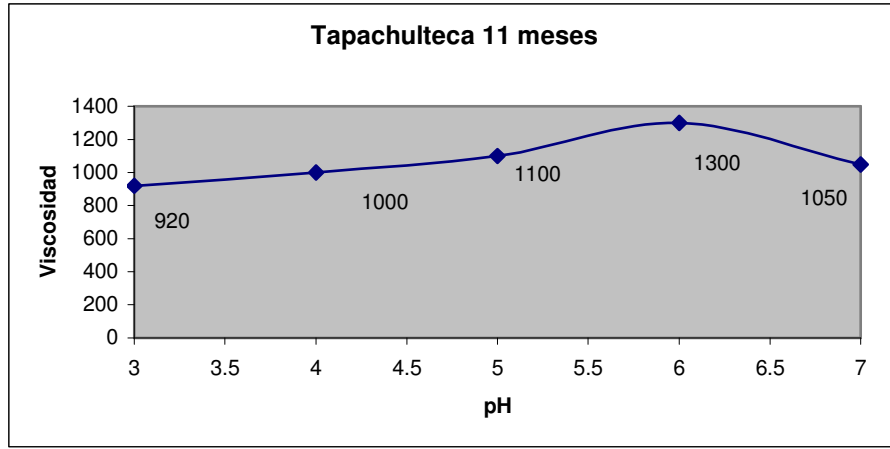
Variedad de yuca	Mililitro de aceite/gramo de almidón
Tapachulteca 18 meses	1.60
Tapachulteca 11 meses	1.50
Colombiana 18 meses	1.60
Colombiana 11 meses	1.40

La capacidad de absorción de grasa para las dos variedades es similar, y se concluye que el almidón de yuca se puede utilizar en mezclas en donde exista aceite y agua.

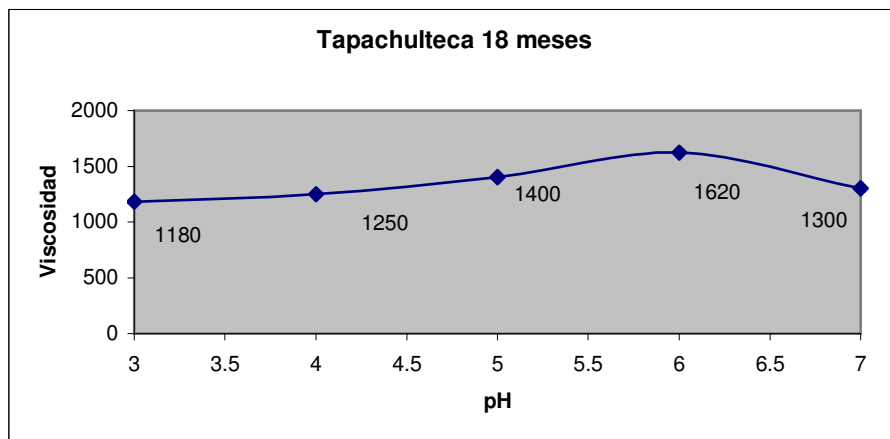
3. Resultados de las características funcionales

a. Estabilidad a diferentes pH

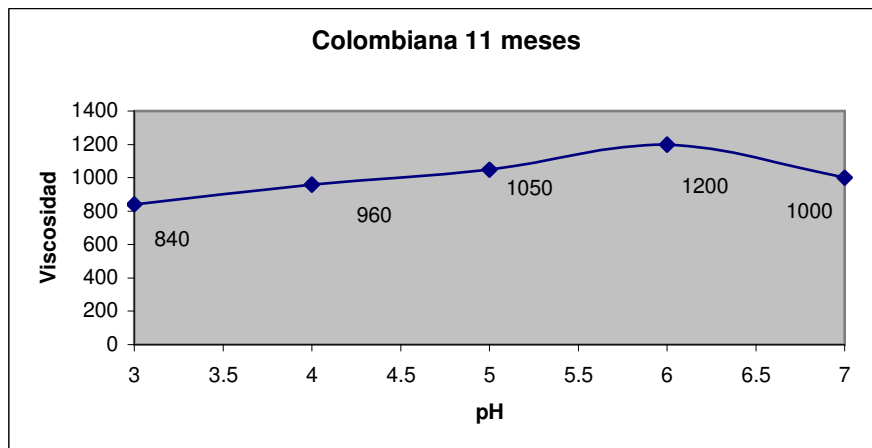
Gráfica No. 5 Estabilidad a diferentes pH variedad Tapachulteca 11 meses



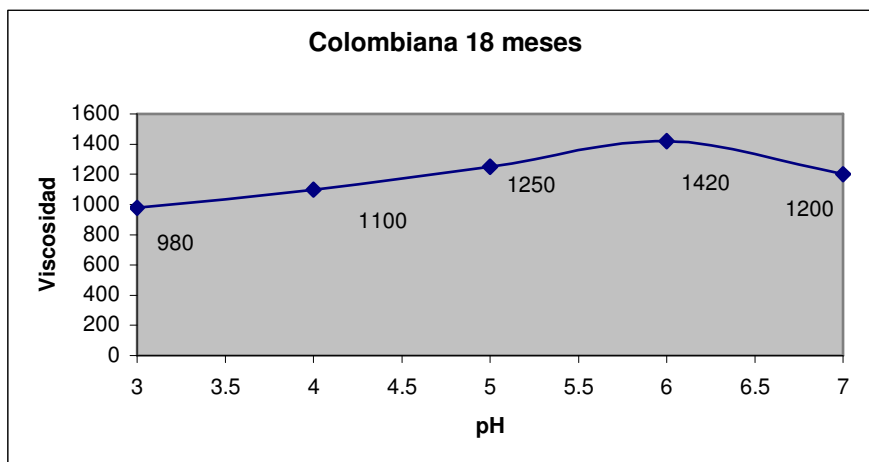
Gráfica No. 6 Estabilidad a diferentes pH variedad Tapachulteca 18 meses



Gráfica No. 7 Estabilidad a diferentes pH variedad Colombiana 11 meses



Gráfica No. 8 Estabilidad a diferentes pH variedad Colombiana 18 meses



El almidón de yuca de las dos variedades analizadas (tapachulteca y colombiana) es más estable en pH ácidos, teniendo su mayor estabilidad en el rango de pH de 4 a 6, mientras avanza hacia el pH neutro (7) su estabilidad disminuye, debido a la ruptura del gel formado.

Como se puede observar en las gráficas la variedad de yuca tapachulteca de 18 meses es la que da el mejor rango de viscosidad a un pH de 6 en comparación con los demás analizados.

b. Estabilidad a la congelación

Cuadro No. 19 Estabilidad a la congelación del almidón de yuca

Variedad	24 horas (ml)	48 horas (ml)	120 horas (ml)	192 horas (ml)
Tapachulteca 11 meses	0	11	8	2
Tapachulteca 18 meses	0	5	5	1
Colombiana 11 meses	0	10	4	2
Colombiana 18 meses	0	8	4	1

La temperatura de congelación fue de 0°F (-18°C) y la cantidad de muestra analizada fue de 200 ml.

Cuando la pasta de almidón se somete a sucesivos ciclos de congelación y descongelación, la estructura del sistema cambia, esto es el resultado de la redistribución y dilución de la pasta de almidón, por el crecimiento y la disolución de los cristales de hielo. El agua retenida por el almidón es expelida de las asociaciones intermoleculares e intramoleculares. Lo cual da como resultado una separación de fases: una rica en almidón (pasta) y otra deficiente en él (parte líquida), lo que da lugar a la formación de una “nata” en la superficie de la pasta de almidón cuando se enfría, esta se engrosa con el tiempo y no desaparece con calentamiento o mezclado.

La tabla anterior nos indica que los geles de los almidones de yuca de las variedades tapachulteca y colombiana son inestables, ya que presentan sinéresis desde el segundo ciclo. También se concluye que en las variedades tapachulteca y colombiana de 11 meses de cultivo se dio una mayor sinéresis en comparación con las variedades tapachulteca y colombiana con 18 meses de cultivo. En la industria alimenticia de congelados está es una variable que afecta a los productos alimenticios ya que es necesario proveer de alimentos estables, que no sufran de sinéresis durante su almacenamiento.

Los geles de las dos variedades analizadas, se tornaron débiles es en su sinéresis en el cuarto ciclo (192 horas de almacenamiento en congelación).

c. Retrogradación

Cuadro No. 20 Retrogradación Tapachulteca 11 meses

Tiempo (horas)	Peso gramos (gel)	Peso gramos (agua)
24	120	0
48	120	0
72	111.0	9.0
96	100.7	10.3

Cuadro No. 21 Retrogradación Tapachulteca 18 meses

Tiempo (horas)	Peso gramos (gel)	Peso gramos (agua)
24	120	0
48	120	0
72	111.3	8.7
96	101.6	9.7

Cuadro No. 22 Retrogradación Colombiana 11 meses

Tiempo (horas)	Peso gramos (gel)	Peso gramos (agua)
24	120	0
48	120	0
72	107.0	13
96	93.9	13.1

Cuadro No. 23 Retrogradación Colombiana 18 meses

Tiempo (horas)	Peso gramos (gel)	Peso gramos (agua)
24	120	0
48	120	0
72	107.9	12.1
96	95.2	12.7

Las dos variedades de almidón analizadas muestran sinéresis a las 72 horas de analizadas a una temperatura de 7°C (temperatura de enfriamiento), determinando que la variedad de almidón tapachulteca de 18 meses de cultivo fue la que menos liberó agua en el proceso de retrogradación efectuado.

También se concluye que la variedad de almidón de yuca colombiana de 11 meses de cultivo fue la que más liberó agua durante el proceso de retrogradación.

d. Capacidad de formar película

Cuadro No. 24 Capacidad de formar película del almidón de yuca

Variedad	Formación de película
Tapachulteca 11 meses	Sí
Tapachulteca 18 meses	Sí
Colombiana 11 meses	Sí
Colombiana 18 meses	Sí

Se formó película en las dos variedades de almidón de yuca analizadas, siendo esta opaca, estableciendo a la vez que poseían una buena adhesividad.

e. Formación y estabilidad de espuma

Cuadro No. 25 Formación y estabilidad de espuma del almidón de yuca

Variedad	Formación de espuma
Tapachulteca 11 meses	NO
Tapachulteca 18 meses	NO
Colombiana 11 meses	NO
Colombiana 18 meses	NO

La capacidad de formar espuma en un almidón esta relacionada con la cantidad de proteína presente en el mismo, por lo tanto en el almidón de yuca su contenido proteico es bajo lo cual dio lugar a la NO formación de espuma en ninguna de las variedades analizadas. Es bueno en la industria alimenticia que se de la NO formación de espuma ya que en el proceso de producción de algún alimento puede causar problemas y conllevaría a utilizar un antiespumante para evitarlo.

f. Transparencia

Cuadro No. 26 Transparencia

Variedad	Color	Aspecto	Transparencia
Tapachulteca 18 meses	Blanco	Grumos con fibra	Opaco No transparente
Tapachulteca 11 meses	Blanco	Grumos con fibra	Opaco No transparente
Colombiana 18 meses	Blanco	Grumos con fibra	Opaco No transparente
Colombiana 11 meses	Blanco	Grumos con fibra	Opaco No transparente
Maíz	Blanco	Polvo fino	Opaco No transparente

Se observó que ambos almidones (yuca y maíz) son opacos, este tipo de almidones se pueden utilizar como recubrimiento en frutas y verduras minimamente procesados ya que tienen capacidad para formar película.

g. Retrogradación utilizando diferentes azúcares y sales

Cuadro No. 27 Retrogradación con azúcares y sales

Tapachulteca 18 meses/Temperatura de gelatinización	24 horas (ml)	48 horas (ml)	72 horas (ml)	96 horas (ml)
Sacarosa 67°C	0	0	0	0
D + Glucosa 69°C	0	0	0	0
D – Fructosa 68°C	0	0	0	0
Lactosa 69°C	0	0	0	0
Maltosa 68°C	0	0	0	0
Cloruro de potasio 78°C	0	0	0	0
Cloruro de sodio 77°C	0	0	0	0
Cloruro de magnesio 78°C	0	0	0	0

Cuadro No. 28 Retrogradación con azúcares y sales

Tapachulteca 11 meses/Temperatura de gelatinización	24 horas (ml)	48 horas (ml)	72 horas (ml)	96 horas (ml)
Sacarosa 67°C	0	0	0	0
D + Glucosa 68°C	0	0	0.1	0.1
D – Fructosa 68°C	0	0	0	0
Lactosa 69°C	0	0	0	0
Maltosa 69°C	0	0	0	0
Cloruro de potasio 80°C	0	0	0	0
Cloruro de sodio 77°C	0	0	0	0
Cloruro de magnesio 78°C	0	0	0	0

Cuadro No. 29 Retrogradación con azúcares y sales

Colombiana 18 meses/Temperatura de gelatinización	24 horas (ml)	48 horas (ml)	72 horas (ml)	96 horas (ml)
Sacarosa 68°C	0	0	0	0
D + Glucosa 69°C	0	0	0	0
D – Fructosa 67°C	0	0	0	0
Lactosa 70°C	0	0	0	0
Maltosa 68°C	0	0	0	0
Cloruro de potasio 77°C	0	0	0	0
Cloruro de sodio 76°C	0	0	0	0
Cloruro de magnesio 74°C	0	0	0	0

Cuadro No. 30 Retrogradación con azúcares y sales

Colombiana 11 meses/Temperatura de gelatinización	24 horas (ml)	48 horas (ml)	72 horas (ml)	96 horas (ml)
Sacarosa 67°C	0	0	0	0
D + Glucosa 69°C	0	0	0.1	0.2
D – Fructosa 69°C	0	0	0	0
Lactosa 69°C	0	0	0	0
Maltosa 68°C	0	0	0	0.2
Cloruro de potasio 76°C	0	0	0	0
Cloruro de sodio 77°C	0	0	0	0
Cloruro de magnesio 78°C	0	0	0	0

Al agregar azúcares y sales al almidón de yuca de la variedad tapachulteca (11 o 18 meses) la temperatura de gelatinización aumenta y la retrogradación disminuye considerablemente en comparación con el almidón nativo.

Al agregar azúcares al almidón de yuca de la variedad colombiana (11 o 18 meses) la temperatura de gelatinización se mantiene, pero al agregar sales aumenta la temperatura de gelatinización y la retrogradación disminuye en ambos casos considerablemente en comparación con el almidón nativo.

La introducción de azúcares y sales fortalece la estructura de las geles obteniéndose geles con menor tendencia a la retrogradación.

Al ser comparados con el almidón nativo, los almidones con interacciones presentaron una gran estabilidad y sus propiedades funcionales de una temperatura de gelatinización relativamente alta y una baja tendencia de retrogradación sugieren a los mismos para ser utilizados en la formulación de una gama de productos alimenticios (mezclas para sopas, compotas, salsas y rellenos para postres, entre otros) que requieran de esas condiciones para su elaboración.

Se produce un retraso en el hinchamiento del gránulo de almidón debido a que hay más solutos y los carbohidratos migran dentro de las cavidades de la amilosa.

En las siguientes figuras se muestra el almidón obtenido de la raíz tuberosa de la yuca, siendo su apariencia de pequeños grumos de color blanco e insaboro.

Figura No. 18 Almidón Tapachulteca 11 meses



Figura No. 19 Almidón Tapachulteca 18 meses



Figura No. 20 Almidón Colombiana 11 meses



Figura No. 21 Almidón Colombiana 18 meses



Comparación de las variedades de almidón de yuca y el almidón de malanga

Cuadro No. 31 Comparación de propiedades del almidón de yuca y el de malanga

Prueba	Tapachulteca 18 meses	Tapachulteca 11 meses	Colombiana 18 meses	Colombiana 11 meses	Malanga
Proteína	0.34	0.34	0.35	0.35	2.89
Grasa	0.27	0.15	0.23	0.19	0.22
Fibra cruda	0	0	0	0	0.087
Humedad	10.82	10.99	11.55	11.63	18.66
Cenizas	0.40	0.38	0.45	0.47	0.41
Carbohidratos	88.17	88.14	87.42	87.36	77.73
Densidad	0.87	0.83	0.83	0.82	0.4628
Absorción de agua	2.52	2.31	2.38	2.22	0.90
Amilosa	16.98%	18.61%	17.15%	19.23%	27%

Prueba	Tapachulteca 18 meses	Tapachulteca 11 meses	Colombiana 18 meses	Colombiana 11 meses	Malanga
Granulometría	+ 325	+ 325	+ 325	+ 325	150
Solubilidad	0.59	0.50	0.52	0.42	1.92
Transparencia	NO	NO	NO	NO	NO
Temperatura de gelatinización	63°C	65°C	68°C	66°C	70 a 75°C
Estabilidad al congelamiento- deshielo	11 ml	21 ml	13 ml	16 ml	39.5 ml
Retrogradación	18 ml	19 ml	25 ml	26 ml	25 ml
Absorción de grasa	1.60	1.50	1.60	1.40	1

VIII. CONCLUSIONES

- La variedad tapachulteca del almidón de yuca es la que presenta el mejor porcentaje de almidón extraído en comparación con la variedad colombiana.
- Se obtiene un mejor rendimiento de producción al utilizar raíces de yuca con 18 meses de cultivo.
- El almidón de yuca tiene aplicaciones como ingrediente en la industria de alimentos debido a sus propiedades funcionales.

IX. RECOMENDACIONES

- Utilizar la variedad tapachulteca ya que fue la variedad que presentó mejores valores de rendimientos.
- Para mejorar la calidad del producto es necesario vigilar la pureza del agua, realizar análisis microbiológicos y manejar diferentes variedades de yuca.
- Estudiar el bagazo y el follaje para la alimentación animal.
- Realizar estudios utilizando métodos de extracción más eficientes para lograr una mejor producción del almidón de yuca.
- Se recomienda analizar otras variedades de yuca, para determinar la cantidad del almidón extraíble en cada una de ellas, evaluando sus propiedades, para mejorar rendimientos.
- Hacer estudios de los desechos de cosecha de la yuca para su aprovechamiento industrial.
- Desarrollar estudios para realizar modificaciones al almidón de yuca para superar las limitaciones que presenta el uso de almidones nativos en la elaboración de productos alimenticios.
- Estudiar las aplicaciones del almidón de yuca para hacer la explotación de la yuca más rentable.
- Realizar estudios sobre cómo disminuir el tiempo de cultivo de las variedades de yuca que se siembran en Guatemala y de esta manera hacer más rentable su producción.
- Probar el proceso de extracción del almidón de yuca utilizando la cáscara.

VIII. DISEÑO EXPERIMENTAL

A. Unidad experimental

La unidad experimental en este trabajo es la raíz tuberosa de la yuca (*Manihot esculenta*).

B. Tamaño de la muestra

Se efectuaron tres repeticiones de cada determinación con respecto al análisis proximal, características físico-químicas y características funcionales, para tener un promedio más confiable que un solo dato.

C. Análisis estadístico

Los resultados numéricos de los análisis efectuados se expresaron como un promedio de los valores obtenidos en las corridas efectuadas en la evaluaciones de análisis proximal para la yuca fresca y el almidón de yuca, análisis físico-químicos del almidón de la yuca y las características funcionales del almidón de la yuca; posteriormente se obtuvo la desviación estándar de cada parámetro evaluado.

Por último el valor promedio obtenido fue comparado con los valores que aparecen en la literatura, para establecer si estos valores se encontraban dentro de los límites establecidos en la literatura consultada.

Para establecer si los valores promedio obtenidos para las propiedades de la raíz de la yuca fresca y el almidón de la yuca son similares a los valores promedio citados en la literatura, se utilizó la prueba t de Student, la cual es una desviación dividida por una desviación típica; la diferencia de medias es la desviación, y el error típico de la diferencia de medias es la desviación típica. Se utilizó un nivel de confianza del 95%, ya que este es el intervalo adecuado a utilizar para una muestra pequeña (menor o igual a 30 datos).

XI. BIBLIOGRAFÍA

1. Anónimo .2002. Ficha técnica: *Industrialización de Yuca*. Recuperado del Internet el 28 de Agosto del 2002.
http://www.mercant.cnp.go.cr/Desarrollo_Agroid/documentospdf/Yuca_FTP.pdf
2. Comité de Normas y Asistencia Técnica Industrial: “*Norma Oficial para el almidón de maíz*”. Costa Rica 1956. Recuperado del Internet el 05 de febrero del 2003. <http://reventazon.meic.go.cr/informacion/onnum/normas/11.pdf>
3. Conferencia internacional: “*Almidón, Propiedades físico-químicas, funcionales y nutricionales. Usos*”. Instituto de Investigación Tecnológica de la Escuela Politécnica Nacional, Red Latinoamericana para la Investigación de Alimentos. Quito-Ecuador, 1996
4. Cortez, I. 1997. *Estudio de Factibilidad para fabricar almidón a partir de la raíz de malanga (colocacia esculenta)*. (Tesis) Universidad del Valle de Guatemala, UVG. 78 pp.
5. Charley, H. 2000. *Tecnología de Alimentos. Procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos*. Limusa Noriega Editores. México, 767 pp.
6. Echeverría, J. 1997. *Caracterización de las bebidas tradicionales de Guatemala a base de cereales y su mejoramiento en calidad nutricional*. (Tesis) Universidad del Valle de Guatemala, UVG. 54 pp.
7. Gutiérrez. B. y Schulz E. 1992. *Características físicas y químicas de harina blanca y almidón de yuca (manihot esculenta Crantz)*. Recuperado del Internet el 28 de Agosto del 2002. http://www.redpav-polar.info.ve/fagro/v18_11/v181a070.html

8. Horton D. 1998. *Advances in carbohydrate chemistry and biochemistry*. Academic Press Limited. London UK. 466 pp.
9. ICAITI 1976. *Guía para la exportación de productos agrícolas no tradicionales YUCA*. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial. Guatemala. 57 pp.
10. Lopez, M. 1994. *Caracterización físico-química de la raíz de malanga (colocasia esculenta (L) schott araceae), extracción de su almidón y comparación del mismo con almidones de trigo y maíz*. (Tesis) Universidad del Valle de Guatemala, UVG. 56 pp.
11. Montaldo, A. 1979. *Cultivo, industrialización, aspectos económicos, empleo en la alimentación animal, mejoramiento. La Yuca o Mandioca*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Editorial IICA. San José Costa Rica. 386 pp.
12. Montaldo A. 1991. *Cultivo de raíces y tubérculos tropicales*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Editorial IICA. San José Costa Rica. 407 pp.
13. Montaldo A.; Montilla J.J y Barrios J.R. 2002. *Usos de los Cultivos de raíces y tubérculos distintos de la alimentación humana*. Recuperado del Internet el 12 de Agosto del 2002. http://www.redpav-olar.info.ve/fagro/v13_14/v134m016.html
14. *Oficial Methods of Análisis of the Association of Oficial Analytical Chemists*, 1984. 14 edición.
15. Onwveme, I.C. 1978. *The tropical tuber crops, yams, cassava, sweet potato, cocoyams*. John Wiley & Sons. 234 pp.

16. Pigman W.; Goepp R. 1948. *Chemistry of the carbohydrates*. Academic Press Inc., Publishers. New York, N.Y. 746 pp.
17. Radley, J.A. 1976. *Examination and analysis of starch products*. Galliard (Printers) Ltd Great Yarmouth. Great Britain. 220 pp.
18. Radley, J. A. 1976. *Industrial uses of starch and its derivatives*. Galliard (Printers) Ltd Great Yarmouth. Great Britain. 268 pp.
19. Trabajo de Seminario 2. 2001. *Extracción del almidón de banano verde residual*. Universidad del Valle de Guatemala, UVG. 64 pp.