

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS



Caracterización de almidón presente en harina obtenida del tubérculo de
chayotera (*Sechium edule*)

Por:

ANGEL IDAMAR VELASCO SANTIAGO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

Ingeniero en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Saltillo, Coahuila; México

Noviembre 2016

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Caracterización de almidón presente en harina obtenida del tubérculo de chayotera (*Sechium edule*)

TESIS

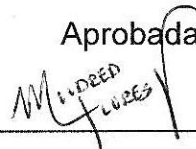
Por:

ANGEL IDAMAR VELASCO SANTIAGO

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como requisito parcial para obtener el título de:


INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Aprobada:



M.C. Mildred Inna Marcela Flores Verástegui

Presidente del jurado

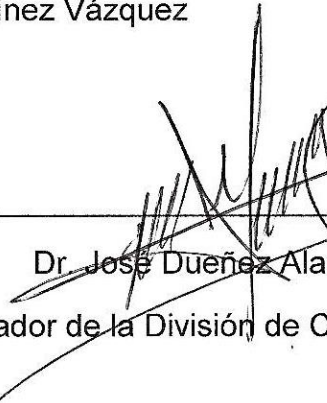


Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez

Sinodal



Dr. Armando Robledo Olivo



Dr. José Dueñez Alanís

Coordinador de la División de Ciencia Animal



Buenavista, Saltillo, Coahuila, Noviembre 2016

Para obtener algo, hay que ofrecer algo de igual valor.

En esta tesis, está presente todo el esfuerzo, el empeño, las alegrías, los triunfos; todas aquellas circunstancias que durante mi formación como profesional me tocó experimentar. Jamás deje que el cansancio, las tristezas y los malos momentos, derrumbaran lo que había formado en mis sueños durante mucho tiempo, que hoy deja de serlo para convertirse en una meta cumplida.

“Siempre hay tiempo para todo, vayan a clases, pónganse a estudiar, vengán a entrenar, agarren la fiesta” - decía fuertemente mi coach-, sabias palabras que me hacían recordar a mí padre, siempre hay oportunidad de hacer las cosas cuando uno se las propone.

Demasiadas veces me tocó escuchar en voces de asombro y admiración: ¿Cómo le hiciste? En realidad, no tenía un secreto, la palabra clave es “compromiso”, sí, la misma palabra que muchos le temen. Temen a comprometerse con la universidad, con los profesores, con el estudio, con una persona, consigo mismo; simple y sencillamente porque esto implica un esfuerzo. Siempre comprometido con mi formación profesional, con mi familia, con mis profesores, con mis amigos y conmigo mismo, me ha llevado a obtener valiosas recompensas. Así como cambie las horas de sueño, por horas de estudio, también las cambié por horas de fiesta; todo en exceso no siempre es lo mejor decía mi madre. Hoy tengo nuevas expectativas, esto no se termina, es apenas el comienzo, algo nuevo está por llegar.

Siempre fuerte me demostré, humildemente hoy triunfé.

Velasco Santiago Angel Idamar

AGRADECIMIENTOS

*Primeramente y ante todo, **Gracias a Dios**, que me ha prestado vida para terminar satisfactoriamente mi carrera profesional, que me da las fuerzas necesarias en tiempos de angustia, que me guía por un camino lleno de luz y nuevas esperanzas, que me da la capacidad de salir siempre adelante.*

*A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, mi **Alma Mater**, por haberme abierto las puertas de su gran casa de estudios y otorgarme la oportunidad de demostrar que puedo ser un profesionalista con capacidad digno de ser llamado, orgullosamente, buitre.*

*A mi **familia**, por el apoyo, las palabras, los abrazos, los buenos deseos, que fue lo que me mantuvo de pie en todo momento.*

*A la familia **Mendoza Garay**, por haberme abierto las puertas de su casa, haciendo que mi estancia lejos de mi familia no haya sido tan difícil. Al Prof. **Rafael Eduardo Mendoza Rodríguez**, por los consejos y las pláticas extensas, que hacían que esas noches de bebidas fermentadas, fueran memorables. A doña **Sandra Garay Haro**, por aquellos días agradables de ping-pong y juegos de mesa, pero sobre todo por hacerme un espacio en su mesa cuando más lo necesité. En especial a **Tamara Mendoza Garay**, por esos platillos exquisitos, las tardes de NFL, las noches de fiesta, las tardes de estudio, la comprensión hacia mi persona y por el apoyo incondicional en todo momento.*

*A mi asesora de tesis, a la **M.C. Mildred Inna Marcela Flores Verástegui**, que gracias a su apoyo y dedicación fue posible realizar este proyecto. Gracias por la amabilidad, los buenos deseos, las palabras, que hicieron que mi ánimo se elevara siempre. Que aparte de ser una excelente maestra, también es una excelente persona; siempre profesional, siempre comprometida, siempre optimista, digna de admirar y que siempre tendré presente. Maestra, ¡Gracias infinitas!*

*Al **Dr. Armando Robledo Olivo**, porque además de ser un gran profesor, es un gran amigo. Gracias por los conocimientos brindados en el aula y por su apoyo y disponibilidad para realizar este trabajo.*

*A la **Dra. Dolores Gabriela Martínez Vazquez**, por aceptar formar parte de este trabajo, por su interés y disponibilidad para que este proyecto fuese completado.*

*A la **Lic. Laura Oliva Fuentes Lara**, por los conocimientos compartidos dentro del aula, así como su apoyo y comprensión, para desarrollar el presente trabajo de la mejor manera.*

***T.A. Carlos Alberto Arévalo Sanmiguel**, por su gran apoyo y paciencia, que al darle seguimiento a mi trabajo, pude terminar satisfactoriamente la primera parte del presente.*

*A mis **amigos**, por aquellos momentos, de estudio, de fiesta, de viajes, por el apoyo y por brindarme su invaluable amistad. ¡Gracias!*

DEDICATORIAS

*A mis padres, **Leticia Santiago Pérez, Álvaro Velasco López***

Porque este logro es de ustedes, gracias a su esfuerzo y dedicación he podido culminar exitosamente mi carrera. Les debo a ustedes todo lo que hasta hoy soy, porque siempre han estado conmigo en todo momento, me han aconsejado, siempre con muestras de cariño y profundo amor. Hoy obtenemos esta pequeña recompensa de muchas venideras, porque de mucho me ha servido y me seguirá sirviendo, que me han enseñado con el ejemplo, que si algo queremos debemos luchar por ello, que siempre hay que dar el máximo esfuerzo, siempre con respeto y humildad. Aquellas palabras, aquellos abrazos, siempre llevaré conmigo. Estas líneas no bastan para redactar mi amor, cariño y respeto hacia ustedes.

*A mis hermanos, **Zuleyma, Almayrani, Romeo y Pablo***

Orgulloso me siento al saber que tengo a unos hermanos como ustedes, siempre presentes en todo momento, que también ustedes se esforzaron para que pudiera terminar mi carrera profesional. Afortunado de ser el hermano mayor, como nos enseñaron nuestros padres, siempre con el ejemplo; hoy quiero ser ejemplo para ustedes. Gracias hermanos.

*A mis abuelos, **Romeo Santiago Alfaro, Elva Pérez García***

A ustedes mis segundos padres, que gracias a sus consejos he podido ser una persona de bien, que han apoyado a mi familia a costa de todo, y que su amor se multiplica a toda la familia. Dignos de admirar por toda su bondad, gracias abuelos.

*A mis tíos, **Mario Santiago, Alí Santiago***

Que son modelos a seguir, con liderazgo, iniciativa, bondad, fuerza, entusiasmo, respeto y humildad.

Dedicado a ustedes mi gran familia.

Índice general

Agradecimientos	iv
Dedicatorias	vi
Índice general	vii
Índice de figuras	xi
Índice de tablas	xii
Resumen	xii
Capítulo 1	
Introducción	1
1.1 Justificación.....	3
1.2 Hipótesis.....	4
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
Capítulo 2	
Marco teórico	
2.1 Harina.....	5
2.1.1 Concepto.....	5
2.1.2 Generalidades.....	5
2.1.3 Tipos.....	6
2.1.4 Variedades.....	7
2.1.4.1 Harina fuerte.....	7
2.1.4.2 Mezcla de harina fuerte y harina débil.....	7

2.1.4.3 Harina débil.....	8
2.1.5 Harinas de calidad.....	8
2.1.6 Fuentes de obtención.....	9
2.2 Cereales.....	9
2.2.1 Granos de cereales.....	10
2.2.1.1 Trigo.....	10
2.2.1.2 Arroz.....	11
2.2.1.3 Maíz.....	11
2.2.1.4 Avena.....	12
2.2.1.5 Centeno.....	12
2.2.2 Composición.....	13
2.2.2.1 Carbohidratos.....	13
2.2.2.2 Lípidos.....	14
2.2.2.3 Proteínas.....	14
2.2.2.4 Vitaminas.....	15
2.2.3 Almacenamiento.....	15
2.2.4 Aspectos saludables y toxicidad.....	15
2.3 Tubérculos.....	16
2.3.1 Concepto.....	16
2.3.2 Papa.....	17
2.4 Chayote.....	17

2.4.1 Morfología.....	17
2.4.2 Utilización.....	18
2.5 Reología de los alimentos.....	18
2.5.1 Concepto.....	18
2.5.2 Generalidades.....	19

Capítulo 3

Materiales y métodos

3.1 Ubicación del sitio experimental.....	20
3.2 Material biológico.....	20
3.3 Materiales, equipos de laboratorio y reactivos empleados.....	20
3.4 Metodología.....	23
3.4.1 Análisis proximal.....	23
3.4.1.1 Obtención de harina de la materia prima.....	23
3.4.1.2 Materia seca total.....	24
3.4.1.3 Humedad.....	24
3.4.1.4 Cenizas.....	24
3.4.1.5 Proteína bruta.....	25
3.4.1.6 Extracto etéreo.....	26
3.4.1.7 Fibra cruda.....	26
3.4.2 Análisis físico.....	27
3.4.2.1 Tamaño de partícula.....	27

3.4.2.2 Observación de partículas de almidón al microscopio con objetivos de 40x y 100x.....	28
3.4.2.3 Extracción de almidón.....	29
3.4.2.4 Solubilidad.....	30
3.4.3 Determinación de pH en harina de tubérculo de chayotera.....	30
3.4.4 Reología.....	31
3.4.5 Análisis estadístico.....	31
Capítulo 4	
4.1 Resultados y discusión.....	32
4.1.1 Análisis proximal.....	32
4.1.2 Observación de partículas con objetivos de 40 y 100x.....	33
4.1.3 Clasificación de partículas.....	34
4.1.4 Solubilidad.....	36
4.1.5 Comportamiento reológico.....	38
Capítulo 5	
Conclusiones.....	42
Capítulo 6	
Literatura citada.....	43
Capítulo 7	
Anexos.....	45
7.1 Análisis de varianza de % Retención de partículas.....	45
7.2 Análisis de varianza de %Solubilidad.....	47

Índice de figuras

Figura 1. Tubérculo de chayotera en fresco.....	23
Figura 2. Harina de tubérculo de chayotera, partículas de 149 μm	28
Figura 3. Preparación de solución de harina de tubérculo de chayotera (1:3) para extracción de almidón.....	29
Figura 4. Gránulos de almidón al microscopio con objetivo de 40x.....	33
Figura 5. Gránulos de almidón al microscopio con objetivo de 100x.....	34
Figura 6. Gráfica del porcentaje de retención de partículas obtenido de las cribas con la harina de tubérculo de chayotera.....	35
Figura 7. Clasificación en porcentaje de retención de harina de maíz.....	36
Figura 8. Gráfica de porcentaje de solubilidad de almidón de tubérculo de chayotera en agua	37
Figura 9. Gráfica de solubilidad de almidón de babasú.....	38
Figura 10. Gráfica de Deformación vs Fuerza de corte, para determinar el tipo de fluido.....	39
Figura 11. Gráfica de Deformación vs Fuerza de corte, acercando los puntos...39	
Figura 12. Comportamiento reológico del almidón.....	40

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación técnica, de productos de molienda de grano.....	6
Tabla 2. Listado de materiales utilizados durante la presente investigación.....	21
Tabla 3. Listado de reactivos empleados durante la realización de la investigación.....	22
Tabla 4. Listado de equipos utilizados durante la realización de la presente investigación.....	22
Tabla 5. Análisis proximal en base seca de tubérculo de chayotera.....	32
Tabla 6. Análisis fisicoquímico del trigo.....	33
Tabla 7. Prueba de medias (T de student) para el porcentaje de retención de partículas de acuerdo a la malla utilizada.....	34
Tabla 8. Prueba de medias (T de student) para el porcentaje de solubilidad del almidón extraído a diferentes temperaturas.....	36
Tabla 9. Medias de los valores para ecuación de Herschel-Bulkley.....	41

RESUMEN

El chayote es un fruto conocido y consumido en América Latina y en otras partes del mundo por las diferentes propiedades nutrimentales que este producto alimenticio proporciona. De aquí se basa la idea de proponer un alimento nuevo aprovechando el cultivo de chayoteras sin invertir un peso más en la producción de la misma, a partir del tubérculo conocido en muy pocas partes del mundo, que generalmente pasa desapercibida y desaprovechada en algunas situaciones. Este tubérculo es consumido de manera inconsciente en platillos típicos y costosos; por su alto contenido de propiedades puede hacer de este tubérculo fuente de innovación para nuevos alimentos o para fortificar o enriquecer alimentos futuros. El alto contenido de almidón puede hacer de este tubérculo la nueva obtención de harinas como un producto nuevo con diferentes características a las ya conocidas, ofreciendo las propiedades de ser un producto natural. En la presente investigación se hace una determinación de análisis proximal del tubérculo de chayotera, definiendo las cantidades de compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en la materia prima estudiada. Se realizó la obtención de harina a partir de la maceración del tubérculo previamente seco y así a partir de un tamizado empleando una criba con una apertura de maya de 149 μ m, adecuada para la obtención de harina (Liu, 2014) y la extracción de almidón, se obtuvo un contenido de éste del 3.43%. Posteriormente se llevaron a cabo análisis físicos tales como la solubilidad del almidón obtenido a temperaturas de 75, 85 y 95°C, y el estudio reológico, encontrando un comportamiento de un plástico real.

Palabras clave: Tubérculo de chayotera, Harina alternativa, Almidón, Reología, Solubilidad.

Capítulo 1

Introducción

En la actualidad, se han presentado muchos cambios en cualquier ámbito y de diferentes maneras, muchos de esos cambios son a beneficio de la sociedad y otras más perjudiciales, la agricultura y la alimentación están dentro de esos ámbitos. Uno de los cambios más notables y de relevante importancia, es el manejo de alimentos y la alimentación como tal, así como su impacto en las nuevas generaciones, tanto como para consumidores, productores y aquellos que se dedican al desarrollo y proceso de productos alimenticios. Hoy en día, la sociedad no pasa desapercibida la importancia de conocer que alimentos son los mejores para incluir en su dieta, así como la trazabilidad del producto, contenido y beneficios que éstos puedan ofrecerle.

La alta demanda de nuevos y mejores productos alimenticios, que cumplan con las expectativas y necesidades del consumidor, ha despertado el interés en aquellos pioneros de buscar nuevas alternativas, que ayuden a la sociedad y a la agricultura. Las nuevas generaciones en la sociedad han puesto a la alimentación desde una perspectiva de moda a una perspectiva de salud y bienestar. En esta parte de la alimentación, la calidad e inocuidad alimentaria juegan un papel muy importante, desde la producción de la materia prima, proceso industrial, conservación y transporte, hasta que el producto alimenticio llegue a las manos del consumidor. Actualmente se encuentra gran diversidad de productos alimenticios de calidad, que ofrecen al consumidor lo que éste quiere consumir. Más sin embargo, elaborar productos de muy alta calidad y con buena aplicación de inocuidad alimentaria no ha sido suficiente. Una pequeña parte de la población se prohíbe a sí misma el poder consumir cualquier tipo de alimentos, ésta abstención al consumo de diversos productos no se debe a su apariencia, ni su sabor, ni a su procedencia; más bien, se debe al cuidado de la salud y bienestar, ya que los cambios en la humanidad han hecho que ciertas personas sean intolerantes a diferentes productos o intolerantes a los componentes que tienen dichos productos. Es aquí en donde juega el papel más importante la ciencia y la

tecnología de alimentos, buscar nuevas alternativas, desarrollar nuevos productos, y reformular los ya existentes, para que éstos sean dirigidos a la población en general y poder incluir a aquella mínima parte de la sociedad que se reservaba a consumirlos. Tal es el caso muy particular de la celiaquía, que por la intolerancia al gluten, los celíacos se prohíben el poder consumir productos derivados de harinas provenientes de cereales, privándose así de muchos gustos y provocándose situaciones incómodas.

Las harinas alternativas no procedentes de cereales, son una excelente opción para sustituir a aquellas harinas comunes con un contenido de gluten, evitando así perjudicar de cierta manera a las personas que padecen la intolerancia a este componente. La elaboración de harina no procedente de cereales es un auge en el ámbito de ciencia y tecnología de alimentos, ya que se ha logrado suplir a las harinas más comunes, sin perder el objetivo de satisfacer a la sociedad y cuidar la salud de los mismos, teniendo méritos propios como lanzar al mercado la presentación de un nuevo producto, o la fortificación de alguna otra harina alternativa existente, otorgando características físicas y químicas diferentes.

Se define como harina al producto de cereales o tubérculos que ha sido reducido de alguna u otra manera en su tamaño de partícula (AAFCO, 2000).

La lista de fuentes de obtención de harinas es muy amplia y diversa, los cereales se mantienen por encima debido a la facilidad de obtención de harina de los granos, así mismo se han integrado nuevas fuentes de obtención a esta lista, procedentes de tubérculos como lo son la papa, la yuca y algunos frutos como el plátano. Estas nuevas fuentes de obtención de harina presentan un contenido elevado de almidón, uno de los componentes más importantes que caracteriza la calidad de una harina. Es por esta razón que se debe de hacer un estudio sobre el contenido de almidón presente en las harinas libres de gluten, así como el comportamiento reológico del mismo, para su evaluación y aceptación como una harina alternativa, que pueda suplir por completo a las ya existentes y que se pueda proceder a la elaboración de nuevos productos alimenticios que sirvan para satisfacer las necesidades del consumidor.

1.1 Justificación

En base a lo anterior, se busca brindar a la sociedad una fuente alterna de obtención de harina libre de gluten: el tubérculo de chayotera.

La chayotera es una planta muy conocida en muchas partes del mundo, debido a la gran producción y comercialización de su fruto, el chayote, que por sus propiedades es muy consumido ya que es bajo en grasa y con alto contenido en fibra. De esta planta solo se aprovecha su fruto en su máxima extensión y en muy pocas ocasiones se utilizan las hojas para usos medicinales y el tubérculo como un ingrediente más para la elaboración de platillos en las zonas de producción.

Con esta investigación se quiere hacer conocimiento de la importancia que tiene el uso de las otras partes de la chayotera, además de su fruto, aprovechando al máximo su cultivo. En este caso, hacer uso del tubérculo, que en muchas ocasiones pasa desapercibido, ya que para la obtención de un buen tamaño del mismo, la planta de chayotera debe tener un alto grado de madurez, y los productores no dan tiempo a que esto suceda, ya que las plantas son renovadas para cada ciclo de producción de fruto.

Una vez que los productores tengan el conocimiento de la importancia de este tubérculo, se intenta brindar nuevas expectativas de la producción de chayotera y obtener nuevas fuentes de ingresos, aprovechando la producción de este cultivo sin hacer inversiones innecesarias y costosas, logrando así la producción y comercialización de chayotes y tubérculos de chayotera.

La producción de este tubérculo iría más allá de su uso como ingrediente para platillos típicos, se busca que sea una fuente más de obtención de harina de calidad, libre de gluten, que sea utilizada como harina base para la elaboración de nuevos productos, o para la fortificación de harinas ya existentes, se trata de lograr una harina alternativa, con características diferentes que cumplan con la expectativas de los consumidores. Para ello se debe hacer el estudio de los componentes de este tubérculo, para conocer las propiedades que puede

ofrecer, así como el análisis del almidón presente y tener el conocimiento base en que producto alimenticio se puede desarrollar esta harina.

Una vez que se haya realizado tal estudio, se busca abrir las puertas a nuevos productos derivados de la harina de este tubérculo, que tenga la proeza de suplir a una harina convencional, que proporcione los mismos y nuevos beneficios y por qué no, con mejores propiedades y características que sea dirigido al consumo de la población en general.

1.2 Hipótesis

Del tubérculo de chayotera (*Sechium edule*) se puede obtener una harina con almidón de calidad.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Estudiar la harina obtenida del tubérculo de chayotera a través de un análisis proximal, así como las características físicas y reológicas del almidón presente.

1.3.2 Objetivos específicos

- Obtener harina a partir del tubérculo de chayotera como materia prima.
- Realizar un análisis proximal de la harina del tubérculo de chayotera.
- Extraer el almidón presente en la harina obtenida.
- Cuantificar partículas de almidón, disponible en la harina de tubérculo de chayotera.
- Clasificar en base a tamaño las partículas de la harina en estudio.
- Determinar la solubilidad de las partículas que corresponden al almidón.
- Estudiar el comportamiento reológico del almidón.

Capítulo 2

Marco teórico

2.1 Harina

2.1.1 Concepto

Producto obtenido del resultado de la molienda de granos de cereales reduciendo gradualmente las partículas del endospermo, haciéndolas pasar a través de una serie de rodillos de acero (Fox, 2004).

2.1.2 Generalidades

Desde tiempo atrás, los granos de cereales, en especial los de trigo y centeno, han experimentado el proceso de molturación o molienda, se comenzó su trituración con dos piedras; después se crearon materiales como el mortero y más tarde las piedras giratorias o muelas, que facilitaban el trabajo de molienda. Estos sistemas funcionaban por la fuerza eólica, hidráulica, o por la fuerza de animales desde el año 800 a.C. hasta mediados del siglo XIX, cuando se suplieron por harineras con rodillos (De Peña, 2005).

Por lo cual para la elaboración de harina, los granos requieren de un proceso de molienda.

Como procesos previos a la molienda, los granos se limpian de impurezas y materia extraña, tales como granos en malas condiciones, hojas de hierba, paja, partículas del suelo, polvo, entre otras. La siguiente fase es el acondicionamiento, que consiste en sumergir los granos en agua durante un periodo de 3 a 4 horas, para procurar que el grano tenga una humedad del 15 a 17% y resulte más fácil separar el salvado del endospermo (De Peña, 2005).

La transformación del grano en harina comienza con el proceso llamado ruptura o quebrantamiento, en donde el grano se hace pasar por cuatro o cinco molinos

ruptores, estos molinos tiene rodillos acanalados en donde se procura la separación del endospermo y salvado. Posteriormente se tamiza a través de tamices de malla de seda o alambre fino y se separa como harina del primer ruptor. Esta harina del primer ruptor se lleva al siguiente juego de rodillos que cada vez es más estrecho y fino que el anterior, teniendo como resultado el final tamizado con casi nada o nada de endospermo adherido (Fox, 2004).

Los productos obtenidos del tamizado de la molienda se clasifican técnicamente de acuerdo al tamaño de partícula, como se muestra en la tabla 1 (De Peña, 2005).

Tabla 1. Clasificación técnica, de productos de molienda de granos de cereales.

	Tamaño
Mostacilla	>500µm
Sémola	200-500µm
Semolina	120-200µm
Harina	14-120µm

El porcentaje de harina extraída se denomina, índice de extracción de harina (Fox, 2004). Debido a que la mayor cantidad de las vitaminas y minerales de los cereales se pierden en el proceso de molienda, es obligatorio añadir ciertos tipos de nutrientes como niacina, hierro, tiamina y creta purificada, a todos los tipos de harinas a menos de que se harina integral (Fox, 2004).

2.1.3 Tipos

Se pueden obtener varias harinas, mezclando lo productos obtenidos de los tamizados en las moliendas.

- **Harina de grado directo:** Producto de la combinación de todas la fracciones de la molienda (Vaclavik, 2002).

- **Harina refinada:** 85% de harina de grado directo y el resto de producto muy refinado (Vaclavik, 2002).
- **Harina aglomerada o instantánea:** Harina humedecida con agua, formando grumos que resultan difíciles de separar. Resultan especialmente útiles como agentes espesantes (Fox, 2004).
- **Harina auto impulsadora:** Contiene una y media cucharaditas de café de levadura química, y una y media cucharaditas de sal, por cada taza de harina (Vaclavik, 2002).
- **Harina blanqueada:** Blanqueada naturalmente hasta un color blanco por exposición al aire o por la adición química de bióxido de cloro gaseoso o peróxido de benzoilo (Vaclavik, 2002).
- **Harina madura:** Se obtiene por el envejecimiento, mejorando su propiedades para el horneado (Vaclavik, 2002).

2.1.4 Variedades

2.1.4.1 Harina fuerte: 12-18% de proteína

- Harina panificable: Obtenida de granos de trigo rojo de primavera con alta relación de proteína y almidón, presenta alto potencial formador de gluten, proporcionando una estructura fuerte y elástica (Vaclavik, 2002).

2.1.4.2 Mezcla de harina fuerte y harina débil: 10.5% de proteína

- Harina para todos usos: Combina las características propias de la harina fuerte con harina débil, no contiene salvado o germen, forma una masa menos fuerte y elástica que la anterior.

2.1.4.3 Harina débil: 8-11% de proteína

- Harina de repostería: Alto contenido en almidón pero bajo en proteína, bajo potencial formador de gluten.
- Harina de pastelería: Menor contenido de almidón en comparación de la harina de repostería.

2.1.5 Harinas de calidad

El análisis de una harina se realiza con el objetivo de establecer su valor del grado de refinado, su estado de conservación o su calidad para su próxima industrialización.

- **Valoración del grado de refinado:** Las técnicas empleadas son la determinación de cenizas y la determinación de color. Con la primera, se valora el contenido presente de salvado, aleurona y germen, mediante la incineración en horno de mufla. La segunda sirve para determinar el grado de contaminación con partículas de salvado, que presentan un color más oscuro que la harina blanca (Vaclavik, 2002).
- **Valoración del estado de conservación:** Las técnicas apropiadas para hacer esta valoración son la determinación del contenido de humedad, ya que un valor por arriba del 13% permite el crecimiento de hongos que generarán micotoxinas; y determinación de acidez, que expresa el grado de hidrólisis que han sufrido las grasas presentes (Vaclavik, 2002).
- **Valoración de la calidad panadera:** Se puede determinar mediante diversas técnicas químicas y físicas, como la cuantificación de gluten, y la aplicación de equipos que valoran características reológicas de las masas, como el farinógrafo de Brabender (plasticidad y consistencia), el extensógrafo de Brabender (capacidad de retención de gas y tolerancia a la fermentación), y el alveógrafo de Chopin (capacidad de formación de alveolos) (Vaclavik, 2002).

2.1.6 Fuentes de obtención

Los granos de cereal son la principal fuente de obtención de harinas, entre los principales granos de cereal está el trigo, el centeno y la cebada. Actualmente existen otras fuentes de obtención diferente a los cereales, por ejemplo, las papas o algunas legumbres para la elaboración de pastas.

Aunque no tienen la composición con los cereales, varias legumbres y hortalizas tales como la soja, garbanzos, patatas y alforfón, también pueden transformarse en harina (Vaclavik, 2002).

2.2 Cereales

Los cereales son pertenecientes a la familia de las gramíneas, su cultivo se ha realizado desde hace muchos años atrás, en épocas del sedentarismo. Estos cereales han acompañado al hombre desde ese entonces como base de su alimentación. En un principio éstos se consumían crudos como tal, después de varios años, estos cereales se tostaban sobre piedras u otros objetos calientes, para separar la cascarilla del grano. Más adelante, éstos se empezaron a triturar y después a molerse, para ser principalmente consumidos en forma de papillas y posteriormente en forma de tortas que se cocían sobre piedras calientes. (De Peña, 2005).

Los principales cereales que son más consumidos por la población, son el trigo (*Triticum Vulgare*), la cebada (*Hordeum vulgare*), el arroz (*Oryza sativa*), el maíz (*Zea mays*), el centeno (*Secale cereale*) y la avena (*Avena sativa*). Estos cereales tienen diferentes usos, el trigo y cebada por ejemplo, son empleados para la elaboración de harinas para panificación, mientras que a los demás, se les han dado usos diferentes como la elaboración de papillas o cereales de desayuno (De Peña, 2005).

Cuando estos cereales son almacenados en buenas condiciones, son extremadamente resistentes a las alteraciones, en comparación con otros

productos alimenticios como lo son la carne, productos lácteos, frutas o cultivos vegetales muy perecederos (Vaclavik, 2002).

Los componentes de estos cereales, es decir, los productos refinados de la molienda, las cascarillas y las harinas, son una fuente proveedora de gran cantidad de carbohidratos principalmente, además de proporcionar en la dieta cantidades significativas de proteínas y algunos micronutrientes (Kirk, 2006).

Los cereales forman la base principal de fuentes de almidón para diversos usos agroindustriales, junto con otros en menor grado, como la papa y semillas provenientes de leguminosas (Kirk, 2006).

2.2.1 Granos de cereales

2.2.1.1 Trigo

El trigo es el grano de cereal más consumido en el mundo, ya que es la base de elaboración de varios productos, su consumo va desde el grano como tal, troceado, en harina, panes, pastas y cereales de desayuno. Estos productos son reconocidos en la dieta de consumidores de todo el mundo (Vaclavik, 2002).

Hoy en día se conocen más de 30 000 variedades de trigo, clasificadas en grandes grupos, como: rojo de invierno duro, rojo de primavera duro, rojo de invierno blando, trigo blanco duro, trigo blanco blando, y trigo durum. Esta clasificación se debe a la estación del año en que se cultiva, la textura (duro o blando) y el color (rojo, blanco, ámbar), (Vaclavik, 2002).

El grano de trigo tiene la siguiente composición: endospermo 85%, cascarilla 12.5%, germen 2.5%. Estos porcentajes pueden variar, de acuerdo a la variedad y al lugar de procedencia (Kirk, 2006). La cariósida del trigo, es el cereal más común que se usa para la obtención de harina (Vaclavik, 2002).

2.2.1.2 Arroz

Este grano de cereal es de suma importancia, ya que también forma parte de la dieta alimentaria y es el alimento básico en gran parte de la población, en el continente asiático. Este cereal se cultiva principalmente en lugares con abundante lluvia y luz solar, en regiones templadas, principalmente en los trópicos (De Peña, 2005).

Este grano, se usa para obtener productos expandidos como harinas, con una fuente rica en carbohidratos y muy pobremente en proteínas y lípidos (Kirk, 2006).

El arroz tiene una composición promedio en porcentajes de: almidón 70, proteínas 7, lípidos 2 y minerales 1 (De Peña, 2005).

Este producto es de suma importancia para gran parte de la población, ya que es consumido con frecuencia por aquellas personas que presentan alergia a los cereales, en especial al grano de trigo. Puede ser el principal componente de una dieta, al añadirse al plato principal como una guarnición o postre (Vaclavik, 2002).

Este grano de cereal también se puede encontrar en diferentes variedades, el cual se clasifica de acuerdo a su tamaño: largo, medio y corto, en esta clasificación se destaca el contenido de amilopectina (Vaclavik, 2002).

2.2.1.3 Maíz

El maíz fue la base alimenticia de sociedades antiguas mayas, aztecas y toltecas. Actualmente, constituye una parte importante de la dieta en las regiones de Norteamérica y regiones centrales del sur de África. Este grano no es apto para la panificación, pero en condiciones de molienda el endospermo es usado para hacer sémola y otros productos cocidos como la tortilla (Kirk, 2006), mientras que el componente amiláceo puede ser procesado como almidón de maíz (Vaclavik, 2002).

Este grano de cereal se compone principalmente de almidón y otros carbohidratos en un 70%, proteínas 9%, y lípidos 4%. El maíz tiene un valor nutrimental inferior al trigo, ya que carece de aminoácidos esenciales como lo es la lisina y el triptófano (De Peña, 2005).

2.2.1.4 Avena

La avena es un grano de cereal cultivado para la alimentación animal y para el hombre, valioso por su alto contenido proteínico (Vaclavik, 2002).

Este cereal tiene un alto contenido en lípidos y proteínas, pero su proteína carece de elasticidad, por lo consiguiente su harina no es la adecuada para su uso en la producción panificadora. La avena se prepara eliminando la cascarilla en la molienda, para la elaboración de avena rolada, y su composición proximal es de aproximadamente 12% de proteína, 9% de lípidos y el 73% de carbohidratos (Kirk, 2006).

2.2.1.5 Centeno

Este grano de cereal se cultiva principalmente en donde existen condiciones climáticas severas para la producción del trigo. A pesar que este grano no tiene las proteínas que producen el gluten para poder procesar un pan esponjado, el pan a base de centeno es un producto importante en la dieta de algunas regiones (Kirk, 2006).

El centeno tiene un contenido más alto en lisina a comparación del trigo, y debido a su baja cantidad en contenido de gluten es usado en combinación con harina de trigo en la elaboración de panes y galletas. Este cereal se puede germinar, para producir malta o harina de malta (Vaclavik, 2002).

2.2.2 Composición

La composición nutritiva de los cereales varía de acuerdo a su contenido en carbohidratos, grasa, proteína, agua, vitaminas y minerales (Vaclacik, 2002). En representación como grupo, los cereales son un 75% de carbohidratos, 10% de proteínas, 1 a 2 % de grasa, 10% de humedad y 1% a 2% de cenizas (Charley, 1987).

2.2.2.1 Carbohidratos

El componente principal de estos granos son entonces, los hidratos de carbono, dentro de los cuales, el polisacárido predominante es el almidón y aproximadamente el 6% es fibra, en especial celulosa y hemicelulosa (Vaclavik, 2002). El contenido de almidón difiere de unos cereales a otros, encontrándose en menor cantidad en los granos de cereales como la avena, el centeno y la cebada, en los que se incrementa la presencia de carbohidratos diferentes, generalmente polisacáridos no amiláceos (De Peña, 2005)

El almidón se dispone en gránulos de manera concéntrica en los granos de cereales, únicamente en el endospermo. Este almidón es una mezcla de glucanos, amilosa y amilopectina. Los almidones de estos cereales están conformados por un 25% de amilosa y un 75% de amilopectina. La cantidad de almidón disponible en los granos de cereal se ha utilizado para identificar el tipo de harina que se obtiene (De Peña, 2005).

Los cereales contienen otros polisacáridos diferentes al almidón, entre ellos se encuentran: hemicelulosas, pentosanos, celulosa, β -glucanos y glucofructanos. Estos carbohidratos constituyen la pared estructural del grano, por lo que se encuentran en mayor cantidad en la parte externa (De Peña, 2005).

2.2.2.2 Lípidos

Este componente se hace presente en los granos de cereal en un total aproximado del 2% dependiendo del grano, por ejemplo, el trigo, arroz, maíz, cebada, y centeno, tienen un contenido del 1 a 2% de lípidos, mientras que en el caso del grano de avena presenta un contenido del 4 a 7%. Estos lípidos, son en 75 a 85% ácidos grasos insaturados, principalmente ácido oleico y ácido linoleico (Vaclavik, 2002).

Los lípidos se almacenan de manera perfecta en el germen, en el caso del trigo y del maíz son los más utilizados como fuentes de obtención de aceite. Por tal motivo hay que separar el germen del endospermo antes de la elaboración de harina, para evitar alguna alteración a causa de los lípidos y evitar obtener una harina de mala calidad (De Peña, 2005).

El contenido de los lípidos en los cereales, no tiene una variación significativa en su composición de ácidos grasos, encontrándose en mayor cantidad el ácido linoleico (De Peña, 2005).

2.2.2.3 Proteínas

Estos macronutrientes, constituyen del 7 a 14% del grano. En comparación con las carnes o huevos, el contenido y aportación de proteínas no es alta, además de que no incluyen todos los aminoácidos esenciales que se encuentran en las proteínas animales (Vaclavik, 2002).

Según la solubilidad de las proteínas, se clasifican en cuatro fracciones proteicas: albúminas, globulinas, prolaminas y gluteninas, cuya cantidad, varía según el tipo de cereal. En el trigo, la glutenina y la gliadina, son proteínas insolubles formadoras de gluten (De Peña, 2005).

Estas proteínas, gliadina y glutenina, son de alta importancia y se encuentran especialmente en el trigo duro, avena, centeno y cebada (Vaclavik, 2002). En el

trigo estas proteínas tienen efectos diferentes, en cuanto a las características reológicas de la masa, las gliadinas son las responsables de la viscosidad y las gluteninas de la elasticidad en la masa (De Peña, 2005).

2.2.2.4 Vitaminas

Los granos de cereales contienen vitaminas del grupo B que se encuentran distribuidas en todo el grano en diferentes cantidades, como son, tiamina (B1), niacina, riboflavina (B2), ácido pantoténico, y piroxidina (B6). Esta distribución de las vitaminas se encuentra de manera irregular, es decir en diferentes concentraciones, por lo cual existe gran diferencia del contenido vitamínico entre los granos completos y los productos de la molienda de los mismos, como la harina y productos para panificación (De Peña, 2005).

Estas vitaminas pueden ser perdidas en el proceso de molienda o molturación y deben de ser añadidas de nuevo en un proceso de enriquecimiento (Vaclavik, 2002).

2.2.3 Almacenamiento

Es muy importante el buen almacenamiento de los granos de cereales, ya que se pueden presentar peligros tales como la humedad, el calor, los hongos, las bacterias, los insectos y otras plagas (Vaclavik, 2002).

2.2.4 Aspectos saludables y toxicidad

Algunos cereales como el trigo, centeno y cebada, pueden causar la enfermedad celíaca en personas predispuestas genéticamente. Esta enfermedad surge por la presencia del gluten conformado por proteínas (prolaminas y gluteninas) que atrofian la mucosa de las paredes del intestino delgado y por consiguiente existe

una mala absorción de nutrientes de los alimentos en general. Estos cereales presentan una composición aminoácida semejante entre ellas, con un contenido de ácido glutámico y de prolaminas superior a los demás cereales. Esta enfermedad se puede evitar o controlar, cambiando el consumo de estos cereales como tal, así como productos derivados de los mismos, por una dieta de arroz, mijo o maíz cuyas prolaminas no producen esta enfermedad (De Peña, 2005).

Por otra parte, los cereales que contienen ácido fítico (ácido inositol hexafosfórico) disminuyen la absorción de los minerales al formar compuestos insolubles, con el calcio y el hierro, es decir inmovilizan estos componentes presentes en las harinas y en los alimentos en general, por lo cual es considerada una sustancia anti-nutritiva (De Peña, 2005).

La falta de niacina, también produce una enfermedad conocida como pelagra, esta enfermedad se presenta mayormente en las personas que tienen su base de alimentación en el maíz, ya que la niacina contenida en sus granos, están unidas a la hemicelulosa y de esta forma no puede ser aprovechada por el cuerpo (Fox, 2004).

2.3 Tubérculos

2.3.1 Concepto

Son tallos carnosos y engrosados que se encuentran de manera subterránea, parte de la plántula es el lugar de almacenamiento de almidón después de que las hojas elaboren hidratos de carbono a partir de la fotosíntesis (Vaclavik, 2002), sin embargo también se definen como extremos hinchados de tallos subterráneos que almacenan la energía en forma de almidón para alimentar a los nuevos tallos que crecen de ellos (Fox, 2004).

2.3.2 Papa

Las papas son tubérculos de fácil cultivo que proporciona buenos rendimientos. Representan una parte importante de la dieta inglesa desde hace 200 años; su bajo costo y fácil producción, le permite ser muy valorada por su periodo de reposo después de ser cosechada, de este modo se puede almacenar durante varios meses y consumir en los tiempos en donde las hortalizas son escasas. Este tubérculo se puede procesar para obtener harina que se utiliza para elaboración de productos horneados o bien deshidratarse para que pueda rehidratarse fácilmente con agua, como un producto instantáneo (Fox, 2004).

Las papas, al igual que cualquier otra hortaliza tiene un alto contenido en agua y alto contenido en almidón, por lo que es considerada una fuente poco costosa de energía, además de que es una fuente importante de vitamina C, tiamina, ácido fólico, y fibra (Fox, 2004).

2.4 Chayote

En el centro de América, especialmente en el norte, el cultivo de chayotera se debe a la influencia de la cultura Azteca y Maya, de aquí que fue distribuida a todo el continente Americano, posteriormente a Asia, África y Australia, debido al traslado por parte de los Europeos (Gamboa, 2005).

2.4.1 Morfología

La chayotera es una planta trepadora, vivaz cuyo sistema radicular está conformado por una inmensa masa de raíces fibrosas, que conforme al tiempo de madurez llega a convertirse en raíces tuberosas (Gamboa, 2005).

Los tallos son herbáceos de color verde que cuenta con zarcillos para poder trepar, que llegan a medir en ocasiones hasta 13 metros de longitud. En cada nudo del tallo se encuentra presente una inflorescencia, una hoja basal, una rama

y un zarcillo; las hojas son generalmente grandes y ásperas en la superficie, la venación es pronunciada abierta y superficial; el fruto es una baya que se produce de manera solitaria o en pares con diferentes formas y tamaños dependiendo de la planta, es carnosa, y con un crecimiento sigmoide, en el exocarpo puede o no, presentar espinas, mientras que el mesocarpo es carnoso, seco o suave, de color verde o blanco (Gamboa, 2005).

2.4.2 Utilización

Es considerada una planta muy versátil, ya que de ella es utilizado el fruto, las hojas, las raíces y los zarcillos; tanto como para el consumo humano como para animales. Esta planta es comestible y aprovechada en un 80 % a comparación de los cereales que solo se aprovecha el 30% de la planta (Gamboa, 2005).

Además, el chayote es utilizado por sus propiedades medicinales para curar enfermedades como: calcificaciones renales, hipertensión, inflamaciones intestinales y cutáneas (Gamboa, 2005).

El tubérculo debido a su alto contenido de almidón de reserva, puede ser utilizado como una fuente de materia prima para la industria de alimentos.

2.5 Reología de los alimentos

2.5.1 Concepto

La reología es la parte de la mecánica que se dedica al estudio de la viscosidad, elasticidad y plasticidad de la materia, y es considerada como la ciencia del flujo y la deformación de los gases, líquidos, plásticos, sustancias asfálticas, materiales cristalinos y otros (Ramírez, 2006).

2.5.2 Generalidades

En la industria alimentaria se hace uso de la reología para estudiar el comportamiento de los productos, entender la tendencia de sus propiedades y conocer el tipo de fluido al que corresponden. La mayoría de los alimentos presentan un comportamiento no newtoniano, un ejemplo de ellos son los hidrocoloides (Quintans, 2008).

Unos de los productos más estudiados por la reología son los carbohidratos, que en su presentación más importante son las gomas, ya que estos componentes influyen en el comportamiento reológico de los alimentos a los que se añaden; algunas fuentes de obtención son:

- De exudados (goma arábica, goma de traganto, goma de karaya).
- De algas (agar, algina, carrageno).
- De semillas (pectina, goma de guar, gomas de cascarilla de maíz y trigo, goma de membrillo y goma de algarrobas).
- Derivados de almidón y celulosas sustituidas (metil y etil celulosa) (Quintans, 2008).

En la actualidad, la alta demanda de productos de calidad, naturales y duraderos ha requerido de nuevos equipos, nueva tecnología y nuevas fuentes para poder ofrecer esos productos atractivos, de buen sabor y textura agradable. Por ello, se requiere la utilización de nuevos aditivos alimentarios químicos y/o naturales, que proporcionen a los alimentos un nuevo olor, color, sabor y algunas otras propiedades que le dan consistencia a los alimentos (Quintans, 2008).

Estos aditivos que brindan una mejor textura, se conocen como estabilizantes, y actúan sobre las características físicas de los alimentos, dando consistencia, textura, cuerpo y estabilidad, como lo son los emulsionantes, gelificantes y espesantes, por mencionar algunos. Estos aditivos también son de interés para la reología (Quintans, 2008).

Capítulo 3

Materiales y Métodos

3.1 Ubicación del sitio experimental

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el laboratorio del Departamento de Nutrición y Alimentos y en los laboratorios del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, ambos departamentos se encuentran ubicados dentro de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (Campus Saltillo), en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

La determinación de comportamiento reológico del almidón se llevó a cabo en las instalaciones del Departamento de Procesos de Polimerización, en el Centro de Investigación de Química Aplicada (CIQA) ubicada en la ciudad de Saltillo, Coahuila, México.

3.2 Material biológico

Para llevar a cabo la presente investigación se evaluó la composición del tubérculo como materia prima, procedente del municipio de La Independencia, Chiapas, México, para lo cual se trasladaron 1.100 kg de materia prima a la ciudad de Saltillo, Coahuila, México, en un tiempo de 2 días en condiciones normales de temperatura, para llevar a cabo las determinaciones necesarias.

3.3 Materiales, equipos de laboratorio y reactivos empleados

En las Tablas 2, 3 y 4 se muestran los materiales, reactivos y equipos con sus respectivas descripciones que se utilizaron para desarrollar la presente investigación.

Tabla 2. Listado de materiales utilizados durante la presente investigación.

Materiales	Descripción
Agitador	Vidrio
Camara Neubauer	Hausser Scientific, 0.100mm
Cartucho de celulosa	
Cribas	250 μ m, 210 μ m, 177 μ m, 149 μ m, 125 μ m
Crisoles	Porcelana
Cubre objetos	Vidrio
Desecador	Vidrio
Espátula	Mango de madera
Gradillas	Metal
Matraz bola fondo plano	100ml
Matraz de aforación	50ml
Matraz Kjeldhal	100 ml
Micro espátula	
Micro pipetas	0.250ml
Mortero	Porcelana
Papel aluminio	
Papel celulosa	
Papel filtro	
Perlas de vidrio	
Porta objeto	
Pipetas	5ml, 10ml
Pinzas para crisol	
Porta objetos	
Termómetro	Mercurio
Tubos de ensaye	10 ml

Tabla 3. Listado de reactivos empleados durante la realización de la investigación.

Reactivos	Descripción
Ácido Clorhídrico	0.5M
Ácido sulfúrico	0.255N
Etanol	50%
Éter etílico	
Hexano	0.5 M
Lugol	
Selenio	
Tiosulfato de sodio	0.5M
Yoduro sublimado	
Yoduro de potasio	

Tabla 4. Listado de equipos utilizados durante la realización de la presente investigación.

Equipos	Descripción
Autoclave	Yamato, SK100C
Balanza analítica	Marca ADN, serie 12310970
Centrífuga	Centrificient, 2015122552
Digestor Kjeldhal	Rapid Distillation Unit Labconco
Equipo Soxhlet	
Estufa	Thelco, Mod. 27
Microscopio	Thomas Scientific, Mod. DMB3-223
Mufla	(Marca Thermolyne, Mod. 1500
Parrilla eléctrica	
pH-metro	Hanna pH Meter, 213
Reómetro, rotatorio de cono y plato	Aton paar, Mod. Physica MCR5001

3.4 Metodología

3.4.1 Análisis proximal

3.4.1.1 Obtención de harina de la materia prima

Se lavó el tubérculo (Figura 1) con agua potable en toda la superficie para liberarlo de polvo, basura y materia extraña, se retiró la corteza con la ayuda de un pelador y se eliminó las partes golpeadas y dañadas, se lavó con agua destilada y con ayuda papel secante se retiró la cantidad de agua que estaba presente en la superficie. Cuando ya se tenía la materia prima limpia y en buen estado se procedió a registrar el peso en una balanza analítica.

La materia prima se cortó de forma transversal de manera que quedaran rodajas delgadas. Por otra parte, se elaboró una charola con papel aluminio registrando el peso de la misma.

La materia prima, ya cortada en rodajas se colocó en la charola de aluminio y se metió en una estufa por un periodo de 24 horas, a una temperatura de 54°C, para retirar el agua que contiene.

Después de transcurrido el tiempo requerido, se tomó registro del peso de la materia prima seca con la charola, y se trituró con la ayuda de un mortero.

La materia prima ya molida, se colocó en un envase de vidrio con tapa, para evitar su contaminación y poder evaluarla posteriormente.



Figura 1. Tubérculo de chayotera en fresco.

3.4.1.2 Materia seca total

Para la determinación de materia seca se utilizaron crisoles de porcelana que se pusieron en una estufa (Thelco, Mod. 27) que alcanza temperaturas de 100-105°C por un periodo de 12 horas para mantenerlos a peso constante y evitar variaciones en los resultados finales. Después se retiraron los crisoles de la estufa y se colocaron en un desecador, dejándolos enfriar en un tiempo de 15-20 minutos hasta obtener el peso constante, enseguida se pesaron los crisoles en una balanza analítica (Marca ADN, serie 12310970) y se registraron los pesos. Posteriormente se agregaron 2 gramos de muestra seca en el crisol (por triplicado), y se metieron a la estufa por un periodo de 24 horas para luego hacer las operaciones siguientes y obtener los resultados de materia seca.

$$\% \text{ Materia seca total} = \frac{\text{peso del crisol con muestra} - \text{peso del crisol solo}}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

3.4.1.3 Humedad

Para la determinación de la humedad presente en la muestra, se utilizaron los resultados obtenidos de la muestra seca total mediante la siguiente operación.

$$\% \text{Humedad} = 100 - \text{Muestra seca total (MTS)}$$

3.4.1.4 Cenizas

Una vez realizada la determinación de la MST, el contenido de la misma muestra en el mismo crisol, se llevó a una parrilla para pre-incinerar hasta que la muestra ya no liberaba humo. Enseguida se colocaron los crisoles en la mufla (Marca

Thermolyne, Mod. 1500), por un periodo de tiempo de 3 horas a una temperatura de 100-600 °C. Posteriormente se dejó enfriar en un desecador de 25 a 30 minutos para pesar en una balanza analítica y poder realizar la operación de determinación de porcentaje de minerales.

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{\text{peso del crisol con ceniza} - \text{peso del crisol solo}}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

3.4.1.5 Proteína bruta

Se pesó 1 gramo (por triplicado) de muestra y se envolvió en papel de celulosa, enseguida se pasó a un matraz Kjeldhal de 100ml, se le agregaron 3 perlas de vidrio al matraz para amortiguar la ebullición, se colocaron 4 ml de la mezcla digestora y 5 gramos de selenio, luego se conectó al aparato Kjeldhal hasta digerir a color cristalino.

Una vez teniendo la muestra deseada se llevó al equipo de destilación (Rapid Distillation Unit Labconco) se enjuagó con 1ml de agua destilada, se le adicionó NaOH al 50% hasta la mitad de la copa del destilador, se recibieron 80 ml del destilado en un vaso con 30 ml de ácido bórico al 2.2 % y gotas de indicador mixto, se tituló con ácido sulfúrico al 0.116801N, por último se realizaron las operaciones correspondientes.

$$\%N = \frac{(\text{ml } H_2SO_4 \text{ gastados en la muestra} - \text{ml } H_2SO_4 \text{ gastados en el blanco}) \times \text{meq N} \times \text{Normalidad } H_2SO_4}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

$$\% \text{ Proteína bruta} = (\%N)(6.25)$$

Nota: 6.25= factor de conversión general en alimentos

3.4.1.6 Extracto etéreo

Se colocaron los matraces bola de fondo plano de 100ml con tres perlas vidrio, en una estufa a una temperatura de 100-105°C por un periodo de 12 horas para llevar a peso constante. Transcurrido este tiempo se retiraron de la estufa y se colocaron dentro de un desecador por un tiempo de 15 a 20 minutos hasta peso constante. Por otra parte, se pesaron 4 gramos de muestra (por triplicado) y se colocaron dentro de un cartucho de celulosa, identificando cada cartucho. A cada matraz bola de fondo plano utilizado, se le agregó 200ml de hexano como solvente, mientras que el cartucho que contiene la muestra, se colocó en el sifón del Soxhlet, y estos se conectaron al matraz bola y al refrigerante, después se dejó que el equipo realizara la extracción por 12 horas para desengrasar. Una vez que transcurrió el tiempo se retiró el cartucho con la ayuda de una pinza y se recuperó el solvente sobrante. Los matraces bola se retiraron con la ayuda de unas pinzas y se llevan a la estufa de 100 a 105 °C por un periodo de 12 horas, para que finalmente se dejara enfriar en un desecador por un tiempo de 15 a 20 minutos, pesarlos en la balanza analítica y realizar las siguientes operaciones para obtener el resultado de %Grasa.

$$\% \text{Extracto etéreo} = \frac{\text{Peso del matraz con lípidos} - \text{peso del matraz solo}}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

3.4.1.7 Fibra cruda

Para la determinación de fibra cruda se pesaron 2 gramos de muestra sin grasa (por triplicado) se colocaron en vasos de precipitado y se agregó 100ml de ácido sulfúrico 0.255N, los vasos se colocaron en un digestor (Marca Labconco, Mod. 54781), se dio paso al sistema de enfriamiento, se encendió la parrilla y se elevó la temperatura a 80-90°C, cuando la muestra comenzó a hervir se dejó 30

minutos. Enseguida se retiró la muestra y se filtró en tela de lino el cual se colocó sobre un embudo y se lavó con agua destilada caliente hasta retirar la reacción ácida. La muestra lavada se pasó a un vaso de precipitado y se le agregó 100ml de hidróxido de sodio al 0.313N, se dejó reposar por 30 minutos y se procedió al lavado de la muestra con agua destilada caliente hasta retirar la reacción alcalina. La muestra se pasó a un crisol, para después colocarlo en una estufa por 24 horas. Después se enfrió en un desecador por 20 minutos y se registraron los pesos. Se llevó a una parrilla para pre-incinerar hasta que la muestra ya no liberó humo, se metió a una mufla por un periodo de 3 horas a una temperatura de 600°C. Después se dejó enfriar en un desecador y se procedió a registrar los pesos en la balanza analítica (Marca ADN, Mod. 2310970), para realizar los cálculos siguientes.

$$\% \text{ Fibra cruda} = \frac{\text{peso del crisol con fibra seca} - \text{peso del crisol con fibra cenizas}}{\text{gramos de muestra sin grasa}} \times 100$$

3.4.2 Análisis físico

3.4.2.1 Tamaño de partículas

Para la clasificación de tamaños de partículas de la harina de tubérculo de chayotera, se utilizaron 25 gramos de muestra seca (5 repeticiones) con la ayuda de 5 cribas o tamices de diferente apertura de malla (250 μm, 210μm, 177μm, 149μm, 125μm) se colocaron una sobre la otra, procurando que la de menor tamaño quedara en la parte de abajo, e ir colocando las demás cribas una sobre la otra de manera ascendente, hasta que la mayor quedó en la parte superior.

Esta fila de cribas se colocó sobre papel de aluminio, que es en donde se recibió el tamizado final.

Para obtener los tamizados, se colocaron los 25 gramos de muestra en la primera criba, enseguida se hicieron movimientos circulares suavemente, para que la materia prima seca se vaya tamizara.

Después de una serie de movimientos realizados, se separaron las cribas con cuidado para evitar pérdidas de muestra, con ayuda de papel aluminio, se retiraron los tamizados en pequeñas charolas de aluminio para registrar los pesos y poder clasificarlos de acuerdo a la cantidad obtenida en cada criba.

Las porciones tamizadas (Figura 2) se llevaron a una balanza analítica se registraron los pesos, y se calcularon los porcentajes, usando el factor de 25 gr como el 100%.



Figura 2. Harina de tubérculo de chayotera, partículas de 149 µm.

3.4.2.2 Observación de partículas de almidón al microscopio con objetivos de 40x y 100xc7

Se preparó una solución de almidón en un tubo de ensaye, se colocaron 0.1 gramos de muestra en 10 ml de agua destilada tibia, y se mezcló suavemente. Con la ayuda de una pipeta Pasteur se tomó una gota de la solución de almidón y se colocó en la cámara de Neubauer (Hausser Scientific, Improved Neubauer, 0.100MM DEEP), a esta muestra se le añadió una gota de lugol, y posteriormente se colocó el cubreobjetos.

Se observó al microscopio (Thomas Scientific, Mod. DMB3-223) enfocando la lente de 40x y 100x, se procedió a la observación de partículas observadas.

3.4.2.3 Extracción de almidón

Se realizó una mezcla de harina de tubérculo de chayotera y agua destilada tibia (1:3), la cual se pasó a una criba de 149 μ m para eliminar la cantidad de fibra presente y facilitar la extracción de almidón. El material resultado de la filtración de la criba, se pasó a tubos de ensaye para centrifugarlos (Figura 3), se colocó dentro de la centrifuga (Centrificient, 2015122552) y por un tiempo de 30 minutos, las muestras se centrifugaron a 2000rpm, enseguida se descartó el sobrenadante. El precipitado en los tubos de ensaye, fue re-suspendido en una solución de tiosulfato de sodio 0.5M (1:1) por 36 horas y homogenizado a intervalos regulares de 4 horas.



Figura 3. Preparación de solución de harina de tubérculo de chayotera (1:3) para extracción de almidón.

Posteriormente se centrifugó a 3000rpm por 15 minutos, se decantó y se eliminó el sedimento color café que estaba presente en la superficie. El sedimento restante se lavó con agua destilada realizando un centrifugado de 3000rpm por 15 minutos, esta operación se repitió dos veces. Una vez terminado este proceso se eliminó el sobrenadante de agua, y el remanente se lavó con etanol al 50% y se centrifugó a 3000rpm por 15 minutos, esta operación se repitió 3 veces. El sobrenadante se desechó y el precipitado se llevó a una estufa de secado por 24 horas a una temperatura de 60°C. Con la ayuda de una micro espátula se retiró el almidón de los tubos de ensaye y se colocaron en un mortero para su trituración. El almidón extraído se pesó y se guardó en una bolsa de aluminio, para su conservación y realizar las operaciones siguientes.

$$y = \frac{\text{peso de almidón purificado(g)} \times \text{Contenido de agua en almidón purificado(\%)} \times \text{total de almidón en almidón purificado(\%)}}{\text{peso inicial de harina(g)} \times \text{Contenido de agua en harina(\%)} \times \text{Contenido total de almidón en harina(\%)}}$$

3.4.2.4 Solubilidad

Se utilizaron 9 tubos de ensaye de 10 ml (previamente pesados y registrados), a cada tubo se le colocó 0.01 gramos de muestra de almidón extraído de la harina del tubérculo de chayotera, y 5 ml de agua destilada. Se homogenizaron realizando movimientos circulares suaves a cada tubo de ensaye. Posteriormente, se llevaron a un baño María de agua a 75°C, 85°C y 95°C (3 repeticiones para cada temperatura) por 30 minutos. Enseguida se homogenizaron una vez más.

Se centrifugaron a 2500 rpm por 20 minutos, el sobrenadante se transfirió a otros tubos de ensaye (previamente pesados y registrados), ambos tubos, con el sobrenadante y con el precipitado, se llevaron a un horno de secado (AF Model 40 Lab Oven) a 60°C por 24 horas. Después del secado se procedió a calcular los pesos de los contenidos en los tubos y realizar las operaciones siguientes:

$$\%Solubilidad = \frac{\text{Peso de sólidos solubles}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

$$\frac{g}{g} \text{Material no soluble} = \frac{\text{Peso del gel}}{\text{Peso de muestra} - \text{Peso de sólidos Solubles}}$$

3.4.3 Determinación de pH en harina de tubérculo de chayotera

En un vaso de precipitado de 100ml se realizó una mezcla (1:3) de harina de tubérculo de chayotera y agua destilada (3 repeticiones), se agitó con la ayuda de un agitador de vidrio por 10 minutos.

Se calibró el pH-metro (Hanna, pH Meter 213) con el buffer y se realizó la lectura del pH a cada repetición, se registraron los datos obtenidos y después de cada registro se lavó el pH-metro con agua destilada.

3.4.4 Reología

Para la determinación del comportamiento reológico, se realizó una mezcla homogénea de almidón de tubérculo de chayotera y agua destilada en un frasco de vidrio con tapa (3 repeticiones). Los frascos se colocaron en una autoclave (Yamato, SK100C) con la tapa sobre puesta a 90°C por 30 minutos para terminar de homogenizar la mezcla, una vez que transcurrieron los 30 minutos, se retiraron los frascos y se almacenaron en un lugar fresco y seco. Posteriormente fueron trasladados al Centro de Investigación de Química Aplicada (CIQA) ubicada en la ciudad de Saltillo, Coahuila, en el Departamento de Polimerización. Con la ayuda de una pipeta, se tomó muestra de los frascos y se colocó en el reómetro de cono y plato (Anton Para, Mod. Physica MCR50), la suficiente cantidad para cubrir el plato del reómetro. El reómetro opera con el programa “Rheoplus” el cual arrojó los datos necesarios para su análisis.

3.4.5 Análisis estadístico

El análisis estadístico realizado en la presente investigación, se basó en un diseño completamente al azar para determinar si existe diferencia entre los tratamientos aplicados para la clasificación de partículas y la solubilidad del almidón obtenido, empleando el paquete estadístico JMP 5.0.1a.

Capítulo 4

Resultados y discusión

4.1 Análisis proximal

En este apartado se presentan los resultados obtenidos en cuanto al contenido nutricional y de cenizas presentes en el tubérculo de chayotera (Tablas 5).

Tabla 5. Análisis proximal en base seca de tubérculo de chayotera.

Parámetro	Porcentaje en base a materia seca
Materia seca	95.38 ± 0.27
Humedad	4.61 ± 0.27
Cenizas	5.48 ± 0.21
Grasa	0.84 ± 0.10
Proteína	7.04 ± 0.10
Fibra	2.22 ± 0.07
Nitrógeno	1.12 ± 0.01
Carbohidratos	86.62 ± 0.22
Almidón	3.43 ± 0.05

Como puede observarse en la Tabla 5, este tubérculo presenta una gran cantidad de carbohidratos, sobresaliendo éste con respecto a otros componentes, lo cual se debe a que esta parte de la planta es la fuente de reserva de energía donde se almacena el almidón, de la que los nuevos brotes absorberán los nutrientes necesarios (FAO, 1991; Montaldo, 1991; Scott 2000).

Al hacer una comparación con el contenido nutricional del trigo que se muestra en la Tabla 6, se puede observar que el contenido de carbohidratos del trigo no rebasa el 74%, mientras que la cantidad de carbohidratos encontrados en este trabajo superan el 86%. La presencia de proteínas en ambos productos, tiene una diferencia significativa, ya que el tubérculo analizado presenta un porcentaje del 7.04 a comparación del trigo con 11%.

Tabla 6. Análisis fisicoquímico del trigo (Fuente: Elsevier, Food Science and Technology, 2016).

Parámetro	Porcentaje en base de materia seca
Humedad	11.23
Ceniza	0.425
Grasa	1.39
Proteína	11.39
Fibra	1.90
Carbohidratos	73.65

4.2 Observación de partículas con objetivo de 40 y 100x

Se observaron las partículas de almidón obtenido a partir del tubérculo de la chayotera al microscopio con el objetivo 40x, que se teñían de color oscuro al estar presente la solución de lugol, como se aprecia en la Figura 3.

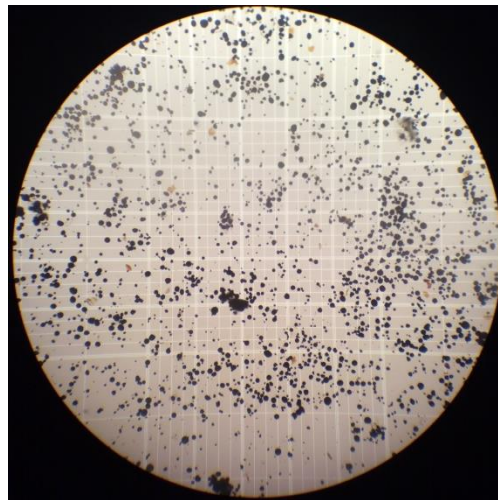


Figura 3. Gránulos de almidón al microscopio con objetivo 40x

Al realizar la observación de las partículas de almidón con el objetivo 100x, como se aprecia en la Figura 4, los gránulos presentan una forma discoide y su tamaño no es uniforme.

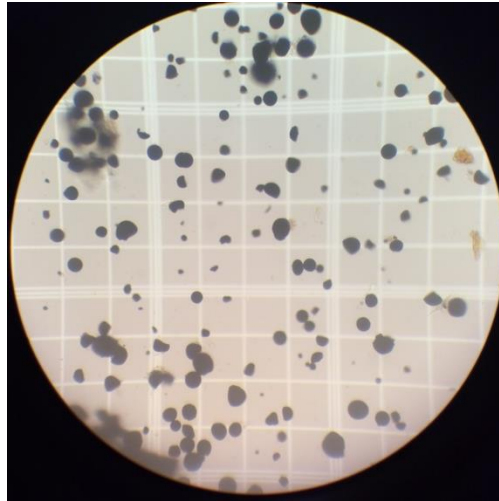


Figura 4. Gránulos de almidón al microscopio con objetivo 100x.

4.3 Clasificación de partículas

La clasificación de partículas fue analizada mediante un análisis de varianza y una prueba de medias T de student, encontrando que existe diferencia significativa entre los intervalos de retención de partículas conforme a su tamaño. Cabe destacar que en las cribas de número 65 y 60 no existe diferencia significativa como se puede observar en la Tabla 7.

El resultado de porcentaje de retención de mayor interés es el de 6.92%, obtenido con la criba número 100 que tiene una apertura de malla de 149 μ m, el cual fue el apropiado para la extracción de almidón, analizar su solubilidad y su comportamiento reológico.

Tabla 7. Prueba de medias (T de student) para el porcentaje de retención de partículas de acuerdo a la malla utilizada

# Cribas					Medias
120	A				16.45%
100		B			6.92%
65			C		5.23%
80			C		3.77%
60				D	0.11%

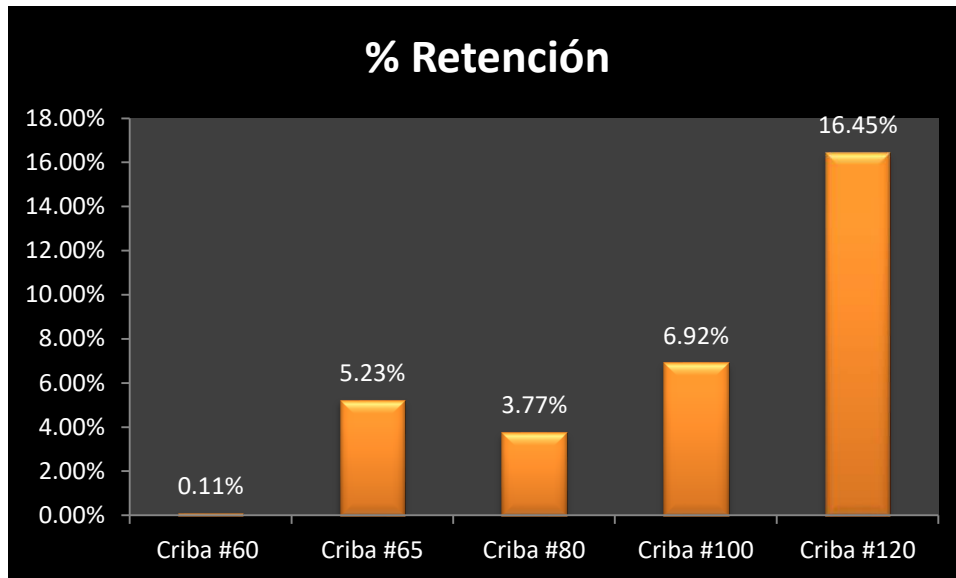


Figura 6. Gráfica del porcentaje de retención de partículas obtenido de las cribas, con la harina de tubérculo de chayotera.

El tamizado resultante de la criba número 100, se utilizó para la extracción de almidón, ya que la apertura de malla de esta criba es de 149 μm , la cual es la adecuada para la obtención de almidón (Liu, 2014).

Al comparar los resultados obtenidos en esta investigación con la clasificación de partículas de harina de maíz, realizada por Pichardo en el 2012 (Figura 7), se encuentra que los porcentajes de retención del producto de molienda de la chayotera son menores que los encontrados en el producto resultante de dos procesos de molienda consecutivos de los granos de maíz.

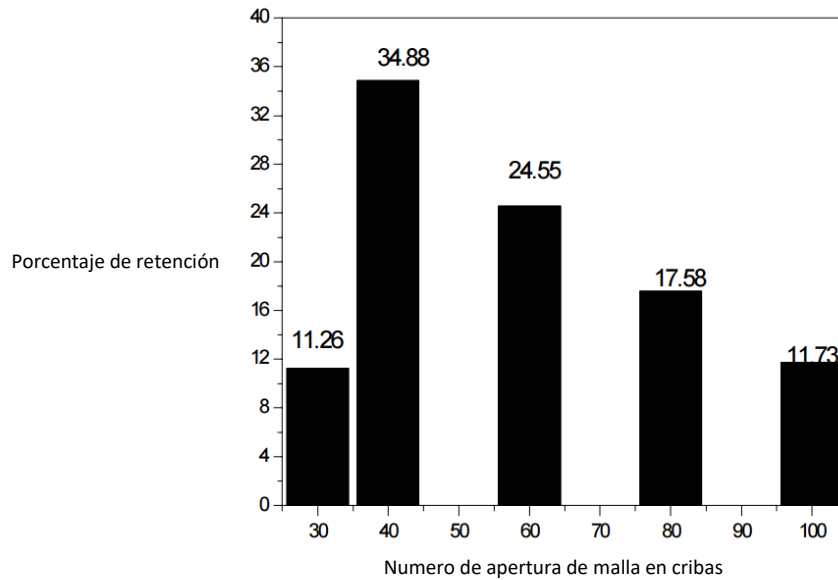


Figura 7. Clasificación en porcentaje de retención de harina de maíz (Pichardo 2012).

4.4 Solubilidad

De acuerdo a la prueba de medias T de student para los resultados del análisis de solubilidad del almidón a diferentes temperaturas, se encontró que entre los tratamientos a 75, 85 y 95°C existe una diferencia estadísticamente significativa, como puede observarse en la Tabla 8.

Tabla 8. Prueba de medias (T de student) para el porcentaje de solubilidad del almidón extraído a diferentes temperaturas.

Temperaturas			Porcentaje de solubilidad
95°C	A		42.4%
75°C	A	B	37.3%
85°C		B	32.3%

El porcentaje de solubilidad aumenta gradualmente conforme al incremento de temperatura, esto se debe al hinchamiento de las partículas o gránulos de almidón con el agua en que se disuelve. Esto se debe al rompimiento de las moléculas de

por el incremento de temperatura, dando lugar a la formación de iones hidroxilo. En esta fase de rompimiento del almidón, el agua se une a las moléculas de almidón dando como resultado el proceso conocido como gelatinización, un cambio irreversible. Entre mayor sea la temperatura, mayor grado de gelatinización y por consiguiente mayor porcentaje de solubilidad (Preto, 2015).

En la Figura 8, que muestra el porcentaje de solubilidad del almidón presente en tubérculo de chayotera, se observa que éste tiene una solubilidad que va del 32.2 al 42.4% en un rango de temperatura de 75 a 95°C, mayor a la que se observa en la Figura 9, que presenta el comportamiento del almidón extraído de babasú, con solubilidad que va de 2.33 a 12.21% en un rango de temperatura de 65 a 95°C (Elsevier, 2015).

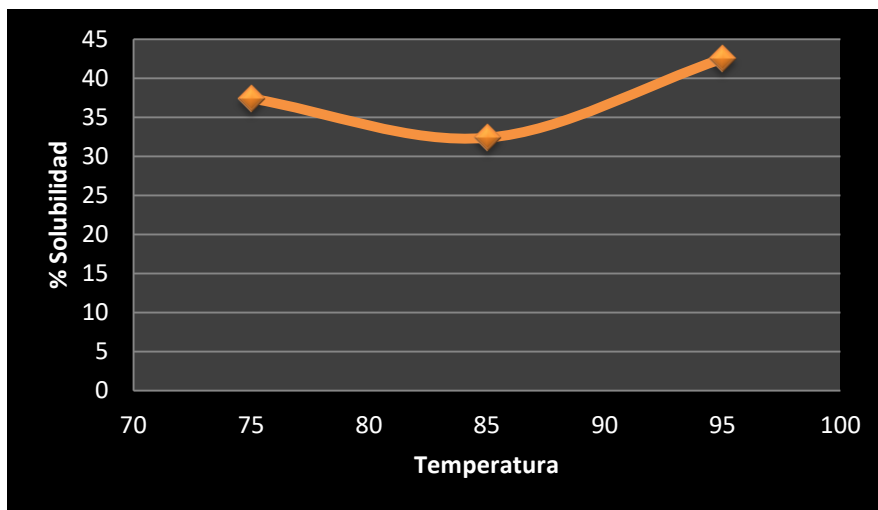


Figura 8. Gráfica de porcentaje solubilidad de almidón de tubérculo de chayotera en agua.

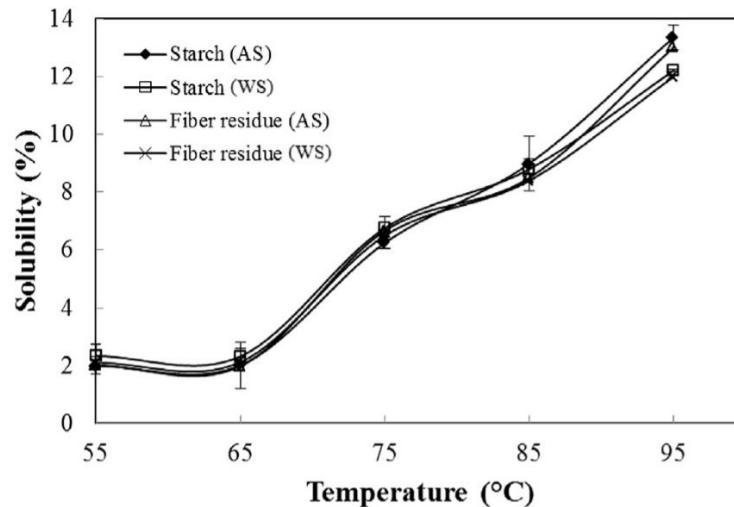


Figura 9. Gráfica de solubilidad de almidón de babasú (Fuente: Elsevier, Food Hydrocolloids, 2015).

Lo anterior muestra que el almidón proveniente de chayotera presenta una mejor solubilidad que el de otras fuentes alternativas, lo cual puede brindar mejores características a los productos que llegaran a generarse utilizándolo como materia prima.

4.5 Comportamiento reológico

Con los datos obtenidos en el reómetro de cono y plato (Aton paar, Mod. Physica MCR5001) se graficaron los puntos de fuerza de corte vs deformación y así determinar el comportamiento reológico del almidón en estudio a temperatura ambiente.

Como se puede observar en las Figuras 10 y 11, para que se llevara a cabo la deformación, fue necesario aplicar un esfuerzo inicial o esfuerzo de deformación umbral que debe ser superado para que el producto comience a fluir (Hermida, 2000). Para determinar el modelo reológico al que mejor se ajustan los datos experimentales se realizaron cuatro repeticiones por muestra, bajo las mismas condiciones, obteniendo un comportamiento de un plástico real o plástico tipo Casson (Sharma, 2009). Este comportamiento reológico, denota que el fluido en

reposito mantiene una estructura tridimensional, es decir es rígido a valores inferiores al esfuerzo inicial y cuando la fuerza es mayor que el umbral, el fluido rompe su estructura y es capaz de fluir (Hermida, 2000).

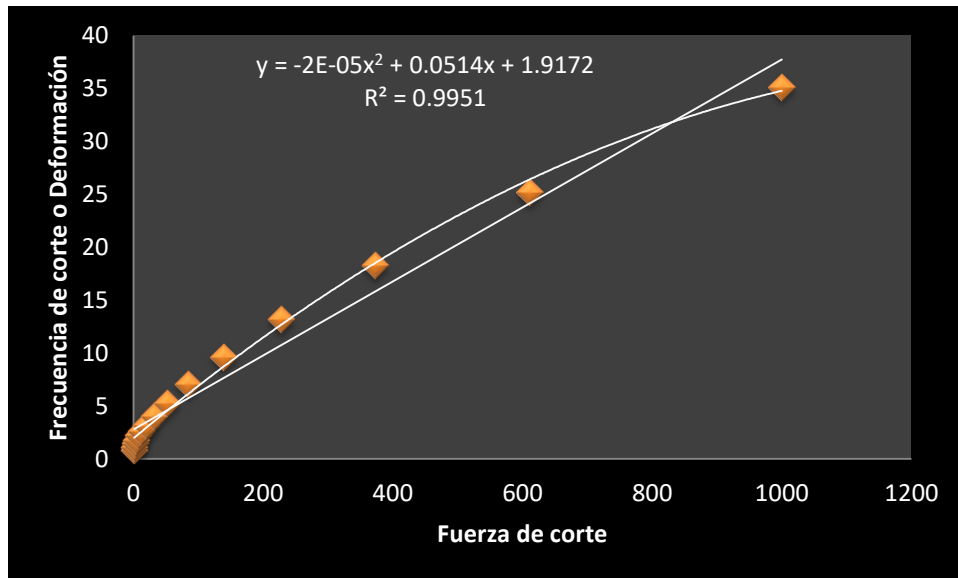


Figura 10. Gráfica de Deformación vs Fuerza de corte, para determinar el tipo de fluido.

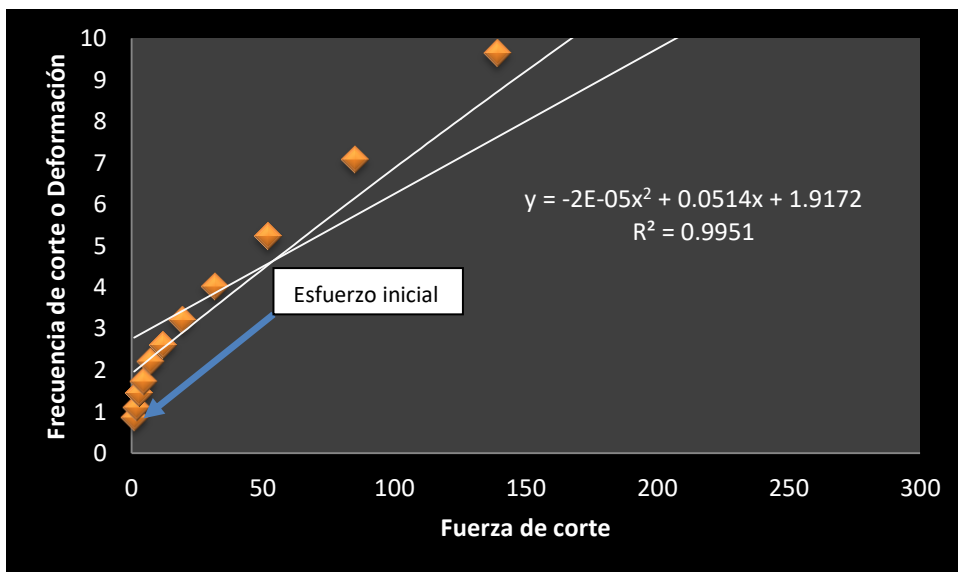


Figura 11. Gráfica de Deformación vs Fuerza de corte, acercando los puntos.

Los plásticos reales se rigen por la ecuación de Herschel-Bulkley: $(\tau = \tau_o + k\gamma^n)$, en donde se representa que la deformación no es constante y que a mayor esfuerzo aplicado, existe una mayor deformación (Figura 12), por consiguiente la viscosidad disminuye (Aguado, 1999).

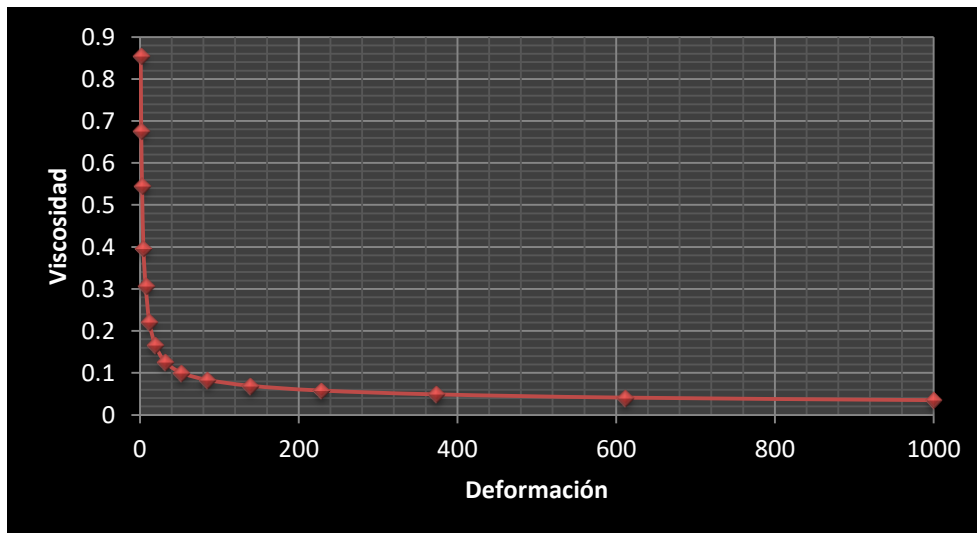


Figura 12. Comportamiento reológico del almidón de chayotera.

Adecuando la ecuación de la ley de la potencia para pseudoplásticos $(\tau = k\gamma^n)$, se agrega el esfuerzo inicial (τ_o) , teniendo la ecuación de Herschel-Bulkley, adecuada para los plásticos reales.

$$\tau = \tau_o + k\gamma^n$$

Dónde: τ : Esfuerzo empleado

τ_o : Esfuerzo inicial

k : Índice de consistencia

γ : Deformación (Nota: El valor de γ , es variable para cada frecuencia de corte.)

n : Índice de comportamiento

Con los datos obtenidos en el reómetro de deformación y fuerza de corte, se obtienen valores para τ_0 , k y n (Tabla 9) mediante la linealización de la ecuación anterior.

Tabla 9. Medias de los valores para la ecuación de Herschel-Bulkley

τ_0	k	n
1.5530	0.0505	0.9841

Sustituyendo los valores de los parámetros anteriores se obtiene un modelo reológico como el que se muestra a continuación:

$$\tau = 1.5530 + 0.0505\gamma^{0.9841}$$

La ecuación anterior permite predecir el esfuerzo requerido para deformar el fluido, lo cual también está relacionado con el comportamiento viscoso del mismo, mediante la siguiente expresión:

$$\mu_A = \frac{\tau}{\gamma}$$

Adecuando a los resultados obtenidos del almidón de tubérculo de chayotera en la ecuación anterior, tenemos:

$$\tau = \frac{1.5530 + 0.0505 \gamma^{0.9841}}{\gamma}$$

Esta ecuación permite conocer el cambio de la viscosidad del fluido en función de la deformación, lo cual es de gran utilidad en el transporte del material dentro de un proceso industrial.

Capítulo 5

Conclusiones

Los resultados obtenidos en el presente trabajo demuestran el alto contenido de carbohidratos (86.62%), presentes en el tubérculo de chayotera, de los cuales un 3.45% corresponde a almidón puro, dentro de la fracción de 149 μm .

El estudio de reología, determina que el comportamiento del almidón en estudio es del tipo de plástico real, unos de los más importantes debido a su estabilidad, por lo cual puede ser empleado para elaborar películas comestibles, o bien utilizarse como estabilizante convencional, por su alto grado de gelificación.

Capítulo 6

Literatura citada

- Aguado, José A., Calles, Cañizares, López, Rodríguez, Santos y Serrano. 1999. Ingeniería de la industria alimentaria: Volumen I. Conceptos básicos. Pp57-61
- Astiasarán, Iciar y De Peña, M. 2005. Alimentos composición y propiedades, Capítulo 6, Cereales y derivados. Pp135-146
- Charley, Helen. 1987. Tecnología de los alimentos: Procesos químicos y físicos en la preparación de los alimentos. Pp189-191.
- Chierigato, B. y Blácido, D. 2015. Insolation and characterization of starch from babassu mesocarp. Food Hydrocolloids 55.pp47-54.
- FAO.1991. Raíces, tubérculos, plátanos y bananas en la nutrición humana. Capítulo 4: Valor nutritivo. Pp41.
- FAO.2000. Harina de trigo. Disponible en : <http://www.fao.org/docrep/005/Y1453S/y1453s05.htm>
- Fox, Brian. 2004. Ciencia de los alimentos, nutrición y salud. Capítulo 7: Alimentos que contienen carbohidratos. Pp150-157.
- Hermida B. José Ramón. 2000. Fundamentos de ingeniería de procesos agroalimentarios: Fluidos no newtonianos (12).pp209-210.
- Kirk, Ronald S., Sawyer y Egan., 2006. Composición y análisis de los alimentos de Pearson, capítulo 8 Cereales y harinas.ppp311-312,314.
- Montaldo, Alvaro.,1991. Cultivo de raíces y tubérculos tropicales. Capítulo 1 Composición general de los cultivos de raíces y tubérculos.ppp39.
- Pichardo, Claudio,. 2012. Procesos Agroindustriales: Harina y derivados. Universidad Nacional de ingeniería.ppp5.
- Rittenauer, M., Kolesnik, M., Gastl, M. y Becker, T. 2015. From native malt to pure starch-Development and characterization of a purification procedure for modified starch. Food Hydrocolloids 56. Pp50-57.

- Scott, Gregoy J., Rosegrant y Ringler, 2000. Raíces y tubérculos para el siglo 21. Cap. 1 Composición general de los cultivos de raíces y tubérculos. Pp39.
- Sharma, Shiri. 2009. Ingeniería de alimentos: Operaciones unitarias y prácticas de laboratorio. Cap 3 Reología de alimentos líquido y sólido. Pp51-53.
- Vaclavik, Vickie A., 2002. Fundamentos de ciencia de los alimentos. Cap 6 Pan, cereales, arroz y pasta. Pp77-90.
- Yanjun, Z., Kexue, Z., Shuzhen, H., Lehe, T y Xianhqi., K. 2015. Characterizations of high purity starches insolated from five different jackfruit cultivars. Food Hydrocolloids 52.pp785-794.

Capítulo 7

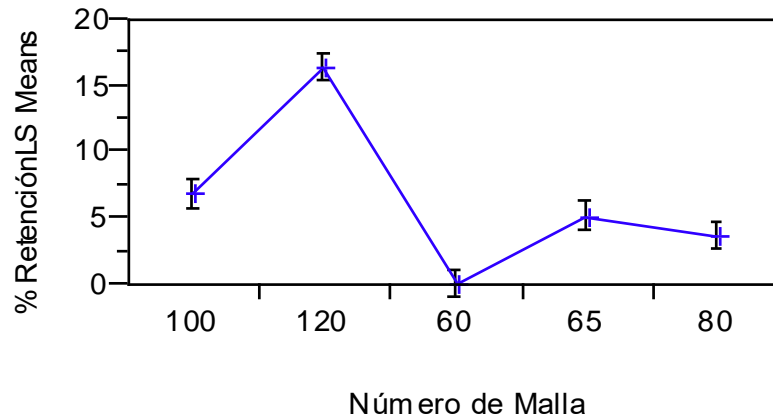
Anexos

7.1 Análisis de varianza de % Retención de partículas

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	4	447,16496	111,791	160,3490
Error	10	6,97175	0,697	Prob > F
C. Total	14	454,13670		<.0001

LS Means Plot



Level		Least Sq Mean
120	A	16,449500
100	B	6,915100
65	C	5,229267
80	C	3,765733
60	D	0,112567

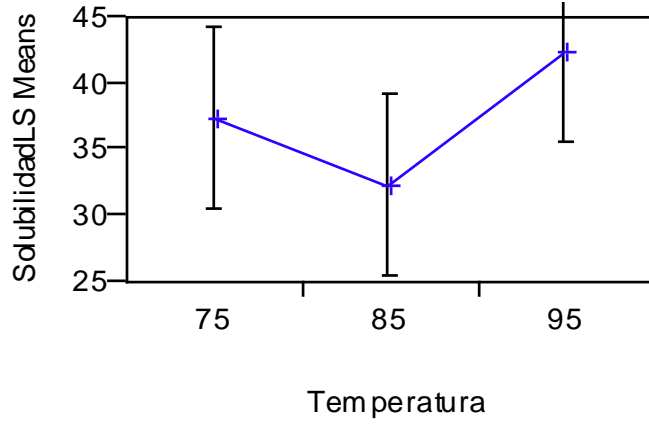
Levels not connected by same letter are significantly different

7.2 Analisis de varianza de % Solubilidad

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	2	153,92132	76,9607	3,1936
Error	6	144,59188	24,0986	Prob > F
C. Total	8	298,51320		0,1136

LS Means Plot



Level		Least Sq Mean
95	A	42,498300
75	A B	37,394300
85	B	32,368533

Levels not connected by same letter are significantly different