



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITÁN

**“Desarrollo de un recubrimiento comestible a base de
xiloglucano para su aplicación a diferentes frutos”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIER OEN ALIMENTOS

P R E S E N T A:

SAID ALBERTO RÁBAGO FLORES

ASESORA: DRA. “ELSA GUTIÉRREZ CORTEZ”

I.Q. “GUADALUPE FRANCO RODRÍGUEZ”



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN



M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Desarrollo de un recubrimiento comestible a base xiloglucano para su aplicación a diferentes frutos.

Que presenta el pasante: Saíd Alberto Rábago Flores

Con número de cuenta: 304000049 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 22 de Agosto de 2017.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Elsa Gutiérrez Cortez	
VOCAL	I.A. Miriam Alvarez Velasco	
SECRETARIO	M. en C. Araceli Ulloa Saavedra	
1er. SUPLENTE	I.Q. Guillermo Martínez Morua	
2do. SUPLENTE	Dra. Dolores Molina Jasso	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

Dedicatorias

A mi madre María Elena

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi padre Alberto

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante.

Especialmente por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en mi educación, tanto académica, como en la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo, los amo.

Agradecimientos

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi esposa Marilyn.

Quien me ha dado su apoyo durante mi vida profesional, palabras motivadoras y momentos inolvidables.

A mis hermanos.

A mi hermano Geovanni por ser el ejemplo de un hermano mayor del cual aprendí aciertos en momentos difíciles; a mi hermana María Elena, a mi hermano Itam quienes siempre me han apoyado.

A mis maestros.

Especialmete Doctora Elsa Gutiérrez por su gran apoyo y motivación para la culminación de mis estudios profesionales y para la elaboración de esta tesis; a la M. en C. Araceli Ulloa por su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de mi formación profesional; a la M. en C. Guadalupe Franco por su apoyo ofrecido en este trabajo; a la I.A. Miriam Álvarez por apoyarme en todo momento.

*No esperes tenerlo todo para disfrutar de la vida,
ya tienes la vida para disfrutarlo todo.*

INDICE

RESUMEN	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1

Capítulo 1 Antecedentes

1.1	Generalidades del tamarindo.....	4
1.2	Tamarindo y su semilla.....	5
1.3	Producción nacional de tamarindo.....	6
1.4	Polisacáridos en la industria.....	7
1.5	La semilla de tamarindo.....	9
1.5.1	Uso de la semilla de tamarindo.....	10
1.5.2	El polisacárido de la semilla de tamarindo (xiloglucano).....	11
1.5.3	Toxicidad del xiloglucano de semilla de tamarindo.....	14
1.6	Recubrimientos y películas comestibles.....	15
1.6.1	Componentes en la elaboración de recubrimientos.....	15
1.6.2	Técnicas de evaluación para recubrimientos y películas.....	22
1.7	Unidades experimentales (frutas).....	27
1.7.1	Guayaba.....	27
1.7.2	Manzana.....	28
1.7.3	Fresa.....	29
1.7.4	Limón.....	30

Capítulo 2 Metodología experimental

Objetivo general,.....	32
Objetivos particulares.....,	32
Desarrollo experimental.....,	33

	Pág.
-Cuadro metodológico.....	34
2.1 Actividades preliminares.....	35
2.1.1 Selección y limpieza de la semilla de tamarindo.....	35
2.2 Actividades para el objetivo particular 1.....	36
2.3 Actividades para el objetivo particular 2.....	40
2.4 Actividades para el objetivo particular 3.....	41
2.4.1 Determinación de turbidez de la fase ligera de la centrífuga.....	45
2.4.2 Determinación del rendimiento.....	46
2.4.3 Determinación de la eficiencia de separación.....	47
2.5 Actividades para el objetivo particular 4.....	47
2.6 Actividades para el objetivo particular 5.....	48
2.7 Actividades para el objetivo particular 6.....	51

Capítulo 3 Resultados y discusiones

	Pág.
3.1 Resultados de actividades preliminares.....	52
3.2 Resultados para el objetivo particular 1.....	52
3.3 Resultados para el objetivo particular 2.. ..	54
3.4 Resultados para el objetivo particular 3.	56
3.5 Resultados para el objetivo particular 4.....	60
3.6 Resultados para el objetivo particular 5.....	62
3.7 Resultados para el objetivo particular 6.....	67
 Conclusiones.....	69
Recomendaciones.....	70
Bibliografía.....	71

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1	Pág.
Figura 1.1 Componentes de la semilla de tamarindo.....	4
Figura 1.2 Frutos de tamarindo.....	5
Figura 1.3 Aldehídos y cetonas presentes en los carbohidratos.....	7
Figura 1.4 Ruptura de la cascara de tamarindo.....	9
Figura 1.5 Corte transversal da silla de tamarindo.....	10
Figura 1.6 Componentes del xiloglucano de la semilla de tamarindo.....	12
Figura 1.7 Fibras en la pared celular.....	13
Figura 1.8 Fruta de guayaba.....	27
Figura 1.9 Manzana Golden delicious.....	28
Figura 1.10 Fresas enteras.....	29
Figura 1.11 Limón entero y partido.....	30

Capítulo 2	Pág.
Figura 2.1 Cuadro metodológico.....	34
Figura 2.2 Partes de tamarindo, a)Cascarilla, b)Fibra, c)Pulpa, d)Semilla.....	35
Figura 2.3. a)Tratamientos aplicados a los sólidos granulares de la semilla de tamarindo, b)Tostado y c)Horneado.....	36
Figura 2.4a)Molino pulvex en operación. b)Restos de muestra reducida en el molino pulvex. c)Criba de 2.0 mm. d)Criba de 1.0 mm.....	40
.Figura 2.5a)Inicio de la suspensión de semilla de tamarindo al 4%. b)Proceso de la suspensión de semilla de tamarindo al 4%. c)Calentamiento de la suspensión de semilla de tamarindo. d)Proceso de centrifugación de la suspensión de semilla de tamarindo gelada. e)Fase ligera de la centrifugación. f)Precipitado de xiloglucano con alcohol al 96%. g)Xiloglucano deshidratado.....	42

Figura 2.6a)Turbidímetro Hanna Instruments. b)Muestras de xiloglucano obtenido a diferentes condiciones. c)Lectura de muestras.....	45
Figura 2.7. Precipitación de xiloglucano de semilla de tamarindo.....	46
Figura 2.8Xiloglucano molido.....	47
Figura 2.9Control de temperatura en la dispersión de xiloglucano.....	48
Figura 2.10Xiloglucano, sorbitol y glicerol listos para elaborar películas.....	49
Figura 2.11a)Dispersión de xiloglucano con temperatura b)Glicerol en un recipiente plástico c)Película de xiloglucano con glicerol.....	49
Figura 2.12 a)Texturómetro b)Molde para las probetas c)Preparación del texturómetro para la prueba d)Probetas de diferentes películas a analizar.....	51

Capítulo 3

Pág.

Figura 3.1 a) Preparación de tiras reactivas. b) Muestra control negativa. c) Muestras en espera de cambio de tonalidad (Horneado, Tostado y testigo positivo).....	53
Figura 3.2 Datos de rendimiento en xiloglucano.....	57
Figura 3.3 Datos de la eficiencia de separación para soluciones de xiloglucano obtenidas a diferentes condiciones de operación.....	59
Figura 3.4 Efecto e interacción de las variables con respecto a la eficiencia.....	60
Figura 3.5 Efecto e interacción de las variables con respecto al rendimiento.....	61
Figura 3.6 Películas de xiloglucano a diferentes concentraciones. a)Recipiente plástico donde se formó la película, b)Película de concentración 3.0 %, c)Película de concentración 2.5 %, d)Película de concentración 2.0 %.....	62
Figura 3.7 Película de xiloglucano deshidratada.....	63
Figura 3.8 a) b) y c)Películas de xiloglucano con glicerol 2, 2.5 3% respectivamente. d) e) y f)Películas de xiloglucano con sorbitol 2, 2.5 y 3% respectivamente.....	64
Figura 3.9 Película de xiloglucano con glicerol al 2%.....	65
Figura 3.10 Gráfico de pico de carga para las tres concentraciones de glicerol....	66
Figura 3.11 Gráfico de deformación para las tres concentraciones de glicerol.....	66

Figura 3.12 Película de xiloglucano aplicada a diferentes frutos a)Manzana b)
Limón c)Guayaba d) Fresa como recubrimiento comestible.....67

LISTA DE TABLAS

Capítulo 1	Pág.
Tabla 1.1 Superficie cultivada y producción de tamarindo.....	6
Tabla 1.2 Clasificación de los monómeros según su grupo carbonilo.....	8
 Capítulo 2	
Tabla 2.1 Tabla de condiciones operacionales en la centrifuga.....	43
 Capítulo 3	
Tabla 3.1. Pesos en gramos de los componentes del tamarindo.....	52
Tabla 3.2 Consumo de la potencia durante la molienda de la semilla de tamarindo.....	54
Tabla 3.3 Rendimiento (masa que pasó el tamiz de número 20 serie USA).....	55
Tabla 3.4 Datos del rendimiento en xiloglucano.....	56
Tabla 3.5 Datos de la eficiencia de separación para suspensiones de sólidos granulares de semilla de tamarindo.....	58



Resumen

Alrededor de la década de los 50's cuando se tuvo la necesidad de preservar los alimentos y aumentar su vida útil, surgió la idea de una técnica, cubrir los alimentos con una capa relativamente delgada de material de cierta composición con la finalidad de protegerlo por la pérdida de humedad y dar una apariencia brillante a frutas, vegetales, quesos y carnes. Por otro lado, la cantidad de desechos que existen en México como resultado del procesamiento de alimentos son cada vez mayores. Un ejemplo típico es el desecho de tamarindo después de haber aprovechado su pulpa. El tamarindo es un fruto seco que crece en las partes tropicales del país, siendo México el segundo país más importante en la producción de este fruto en el continente. La semilla de tamarindo es un desperdicio industrial, tiene un alto contenido de carbohidratos, los cuales hoy en día juegan un papel muy importante en la investigación científica en la industria farmacéutica y cosmética. Pero su aplicación también puede ser importante en la industria alimentaria, para la formación de sistemas dispersos como lo son los geles suaves y duros, suspensiones verdaderas entre otros, pero su aplicación no está limitada solo en la química en los alimentos, sino también en la tecnología de la formación de películas biodegradables, como aplicación para recubrimientos comestibles. En el presente trabajo se realizó una limpieza a la semilla de tamarindo obtenida de una planta procesadora de pulpa como desecho industrial. Posteriormente, se redujo de tamaño en un molino Pulvex 200, una vez pulverizado se utilizó para elaborar suspensiones y extraer el xiloglucano mediante operaciones unitarias mecánico-físicas, como sedimentación y centrifugación. El xiloglucano es un importante polisacárido que tiene múltiples aplicaciones en la industria farmacéutica como emulsificante y espesante, debido a sus características fisicoquímicas y puede tener también un alto potencial en la industria de los alimentos, en este proyecto se determinó mediante pruebas colorimétricas por su bajo contenido de glucósidos cianogénicos. Se evaluó el potencial del xiloglucano para elaborar películas y recubrimientos comestibles a diferentes concentraciones. Se utilizó sorbitol y glicerol a distintas concentraciones como plastificantes para establecer la compatibilidad con el xiloglucano y modificar la rigidez de las películas y hacerlas flexibles. Se realizaron pruebas de transparencia y textura para conocer las propiedades de la película tales como deformación y fractura al ser sometidas una fuerza, la adherencia fue evaluada aplicándose como un recubrimiento y fue coloreado para establecer el área cubierta a frutos frescos con distintas superficies, tanto lisas como rugosas, porosas y texturas diferentes, como lo son fresa, guayaba, limón y manzana. Se encontró que el xiloglucano tiene un amplio potencial para la elaboración de películas y recubrimientos, los cuales pueden ser cargados con agentes antimicrobianos, proteínas, vitaminas, compuestos antimicrobianos, fenólicos, antioxidantes, aceites esenciales entre otros.

Palabras clave: Frutos, polisacárido, recubrimiento, tamarindo, xiloglucano.



Introducción

El conocimiento de la química de los polímeros y los avances de la industria asociada a su producción y procesado, han puesto en el mercado una gran variedad de productos con múltiples aplicaciones en el ámbito de la conservación del patrimonio cultural. Así, los polímeros sintéticos son utilizados dentro del contexto de la manipulación, exposición, tratamientos de conservación durante el almacenamiento y transporte de alimentos (Aytunga *et al.*, 2013).

Mishra y Malhotra (2009) explicaron que los polímeros naturales llevan a cabo un diverso conjunto de funciones en su entorno nativo. Por ejemplo, los polisacáridos tienen una gran función en las membranas y la comunicación intracelular; proteínas funcionan como materiales estructurales y catalizadores, los lípidos funcionan como reservas de energía así sucesivamente. Los polisacáridos son materiales producidos a partir de compuestos biológicos, por lo general son biodegradables no tóxicos. Se debe de estudiar la estructura de los polímeros naturales, debido a que por los atributos de estos biopolímeros pueden ayudar a desarrollar nuevas aplicaciones de estos biomateriales. La inherente biodegradabilidad de los biopolímeros, también significa que se debe de estudiar principalmente en la prevención prematura de la degradación, así como otros problemas en los que son recurrentes como el control de humedad y pérdida de propiedades mecánicas. Amplias gamas de polímeros de origen natural que se derivan de recursos renovables los cuales están disponibles para las aplicaciones de diversos materiales.

En la actualidad los consumidores demandan alimentos frescos procesados de apariencia natural con un mayor valor nutrimental, sin aditivos químicos, inocuos de elevada calidad, pero que al mismo tiempo estén listos para consumo de forma inmediata. La aplicación más innovadora para satisfacer esta necesidad es la elaboración de películas comestibles. Siendo matrices de origen natural, protegen a los alimentos de daños mecánicos, microbiológicos, bioquímicos, entre otros, capaces de aumentar la seguridad y su vida comercial (Olivas y Barbosa-



Canovas, 2005; Pérez-Gago *et al.*, 2010). En los últimos años se han llevado a cabo numerosos trabajos que conllevan estudios sobre diferentes materiales para elaboración de películas y recubrimientos, dentro de los que destacan proteínas, carbohidratos y lípidos (Rojas-Graü *et al.*, 2008; Tapia *et al.*, 2008). Supone un importante desafío que estas cubran una gran parte de los grupos alimenticios, pero más aun que estos sean biodegradables y económicos (Mei y Zhao, 2003). Su efectividad reside en la adhesividad al material que se va a cubrir, el control de sus agentes activos hacia la superficie y compatibilidad de los productos. Como una alternativa con buen potencial se encuentran los polímeros, que se han convertido en una parte importante en la vida diaria, a tal grado que ha llegado a formar uno de los más atractivos dominios en la ciencia de los materiales (Abo-Shosha *et al.*, 2006). Los materiales poliméricos son utilizados en la mayoría de las industrias manufactureras, incluyendo la industria alimentaria (Avachat 2013). Esto se debe principalmente a su bajo costo, reproducibilidad a gran escala y su durabilidad relacionada a su alta resistencia al envejecimiento físico y a los ataques microbiológicos (Aytunga *et al.*, 2013). El punto de enfoque de éste proyecto en gran parte es apoyar al medio ambiente reutilizando un desperdicio industrial y procesarlo. El xiloglucano es un polisacárido extraído de diferentes semilla entre ellas el tamarindo. Éste es utilizado como aditivo en comida procesada para mejorar sus propiedades como viscosidad y textura. Se utiliza como aderezo de salsas, estabilizante en leche descremada, mantequillas, café instantáneo, jarabe de glucosa, mayonesa, queso, emulsiones, agente gelificante, en pudines, postres y confitería, gel de baja liberación de agua, yogurt, como agente mejorador de palabilidad en sopas instantáneas, recubrimientos, agente espesante en mermeladas, espumas, inhibidor de cristalización en helados, alimentos congelados fritos, agente deshidratante en productos granulares entre otras cosas (Bhattacharya *et al.*, 1993). El propósito de este trabajo fue extraer xiloglucano de semilla de tamarino y combinarlo con diferentes plastificantes para conocer su afinidad, así mismo elaborar películas y recubrimientos comestibles con diferentes plastificantes y evaluar su adherencia a diferentes frutos para conocer su potencial como película o como recubrimiento comestible.



El xiloglucano obtenido de la semilla de tamarindo que es un desperdicio industrial presentó una excelente aplicación para la industria alimentaria, por esa razón se requiere que se lleven a cabo estudios para otros usos.



Capítulo 1

Antecedentes

1.1 Generalidades del tamarindo

El tamarindo es un fruto seco conocido también como “*Tamarindus indica*”. La aplicación de este fruto es muy amplia para la industria de los alimentos, sin embargo está limitada al contenido de pulpa que para su obtención es necesario una limpieza para separar la semilla y las ramificaciones fibrosas.

El tamarindo es una vaina oblonga o linear, comprimida lateralmente y comúnmente curvada con una capa externa (epicarpio) parda delgada y escamosa (se quiebra irregularmente al secarse), una capa mediana (testa) pulposa combinada con fibras y una capa coriácea interna (endospermo) que es el centro de la semilla (Bhattacharya *et al.*, 1993). La semilla se aprecia en la Figura 1.1

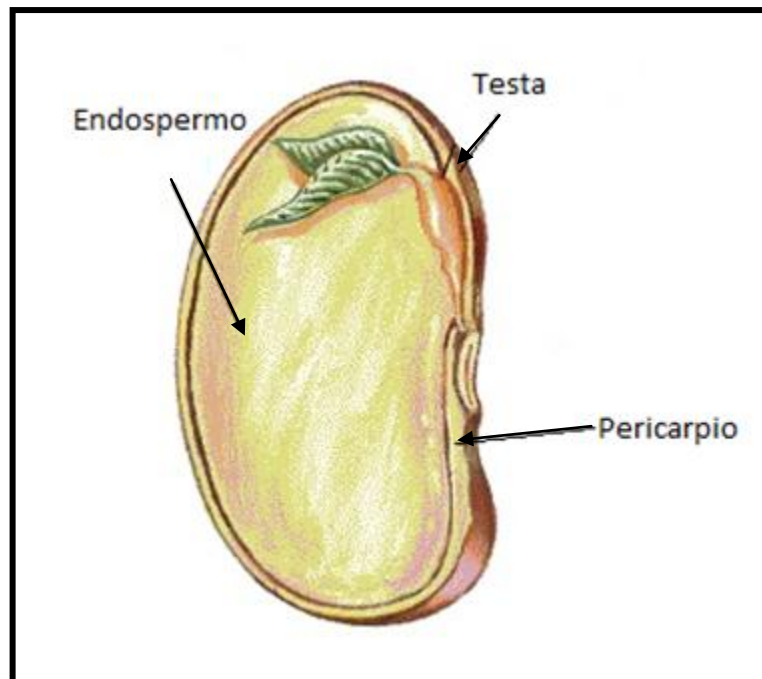


Figura 1.1 Componentes de la semilla de tamarindo



Las vainas generalmente tienen dimensiones de 5 a 15 cm de largo por 2 a 3.5 cm de ancho y 1.5 cm de espesor que puede contener de 1 hasta 12 semillas. Los frutos persisten en el árbol por varios meses, las semillas ovaladas y comprimidas lateralmente lisas con la testa café lustrosa de 1 cm de largo y unidas entre sí, carecen de endospermo como reserva nutritiva, presentan un par de cotiledones gruesos y la radícula es pequeña y recta, el árbol es caducifolio de 20 a 30 m de altura, con un diámetro a la altura del pecho de hasta 1.5 m. (SAGARPA, 2013)

1.2 Tamarindo y su semilla

El tamarindo es un frutal que se explota principalmente en regiones de clima cálido semiárido, donde la producción de fruta es adecuada tanto en cantidad como en calidad. También se cultiva en zonas con clima cálido húmedo, en las cuales se obtienen frutos de menor calidad por las condiciones de alta humedad relativa. En la Figura 1.2 se muestra los frutos del tamarindo.



Figura 1.2 Frutos de tamarindo



Los frutos de tamarindo son de color café oscuro y tienen una cubierta áspera de tono café más claro que la semilla.

1.3 Producción Nacional de tamarindo

Los países productores más importantes son: México, India, Brasil, Belice, Guatemala, Costa Rica y otros países de América Central, Sudamérica, Asia y África. En la república mexicana se cultiva principalmente en los estados de Colima, Guerrero, Oaxaca, Michoacán, Chiapas, Jalisco y Veracruz. Datos que se presentan en la tabla 1.1 de acuerdo al Centro de Estadística Agropecuaria de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, se reportó una superficie de 5,901 hectáreas, de las cuales, el 27.6% se encuentra bajo condiciones de riego (SAGARPA, 2008).

Tabla 1.1. Superficie cultivada y producción de Tamarindo en México

Estado	Superficie (Ha)		Producción (Ton)	Valor de la Producción (\$)
	Sembrada	Cosecha		
Chiapas	298	298	1,491	4,107,795
Colima	2,075	1,974	11,884	38,495,738
Guerrero	1,920	1,907	7,824	19,756,936
Jalisco	265	251	1,249	3,302,606
Michoacán	330	328	1,818	4,718,801
Nayarit	119	119	491	2,050,200
Oaxaca	513	511	2,327	3,490,500
Veracruz	205	205	1,638	3,276,000
Otros	167	165	697	1,744,715
Total	5,901	5,758	29,419	80,943,291

Fuente: Centro de Estadística Agropecuaria (SAGARPA, 2008)



El rendimiento medio nacional es de 5.1 toneladas de fruta por hectárea. El estado de Colima es el principal productor de tamarindo en México, con un 33% de la superficie nacional cultivada y una producción cercana a las 12 mil toneladas. La tabla 1.1 muestra los valores de producción en los diferentes estados del país, dentro de los que destacan también Guerrero, Oaxaca, Michoacán y Jalisco con una producción total reportada en 2008 de 29,419 Toneladas.

1.4 Polisacáridos e importancia en la industria alimentaria

Los Hidratos de Carbono mejor conocidos como carbohidratos son compuestos derivados de aldehídos y cetonas y sugieren una composición elemental genérica como se muestra en la Figura 1.3.

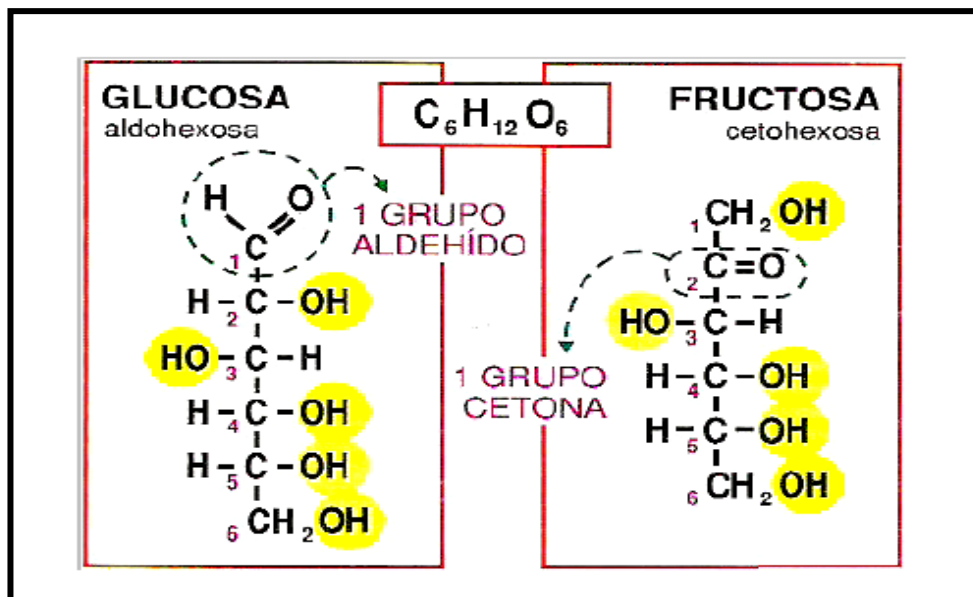


Figura 1.3 Aldehído y Cetona presentes en los carbohidratos

Los carbohidratos son los compuestos orgánicos más abundantes en nuestro planeta, la estructura general de los carbohidratos se representa como $C_n(H_2O)_n$, en resumen contiene átomos de carbono hidrógeno y oxígeno en la misma proporción que el agua y constituyen más del 90% de la materia seca de los vegetales por lo tanto son abundantes, de fácil disponibilidad (Fenema,1999).



Los carbohidratos incluyen desde algunas moléculas relativamente simples, tales como la glucosa, hasta las estructuras poliméricas del almidón y la celulosa o las glucoproteínas y los glicolípidos, en los que están unidos a los aminoácidos y ácidos grasos respectivamente que constituyen algunos de los componentes más importantes de las membranas celulares y de los tejidos. También comprenden estructuras que varían desde unos pocos átomos de carbono hasta macromoléculas poliméricas que tienen pesos moleculares muy grandes, en la tabla 1.2 podemos observar algunos de ellos (Fennema, 1999).

Tabla 1.2 Clasificación de los monómeros según su grupo carbonilo

Numero de átomos de carbono	Aldehído	Cetona
3	Triosa	Triulosa
4	Tetrosa	Tetrolosa
5	Pentosa	Pentulosa
6	Hexosa	Hexulosa
7	Heptosa	Heptulosa
8	Octosa	Octulosa
9	Nonosa	Nonulosa

Fuente: Fennema 1999.

Los Carbohidratos que no se pueden descomponer en unidades más sencillas mediante reacciones de hidrólisis se denominan monosacáridos y tienen de 3-9 átomos de carbono, si son derivados de aldehídos se les conoce como “Aldosas” y si provienen de cetonas son llamados “Cetosas” (Fennema, 1999).

La biodegradación de los polímeros se puede llevar a cabo por dos tipos de microorganismos diferentes, las bacterias y los hongos. Estos microorganismos actúan de forma que su metabolismo enzimático realiza una catálisis enzimática, donde en un principio los microorganismos liberan enzimas extracelulares, las cuales se polimerizan a las cadenas del polímero y utilizan éstas cadenas de polímero como fuente de carbón.



La biodegradación de los polímeros es un factor fundamental para reducir la contaminación de los envases plásticos, de ahí que los biopolímeros han cobrado una importancia fundamental para el desarrollo de nuevos recubrimientos, ensambles, estructuras y para el caso de alimentos envases y películas para utilizarlos como contenedores de los productos frescos, mínimamente procesados, deshidratados y con tratamientos especiales (Aytunga,2013).

1.5 Semilla de tamarindo.

El fruto del tamarindo es una vaina que al madurar su cáscara es quebradiza y puede romperse fácilmente como se muestra en la Figura 1.4. La pulpa es la parte comestible del fruto, de color café, consistencia firme, viscosa, granular, de sabor agridulce y con alto contenido de azúcar y ácido glutámico y aspártico. Posee de 1 a 12 semillas de color café brillante, planas, ovaladas y unidas entre sí por fibras que se localizan en la pulpa del fruto. En un kilogramo de fruto seco de tamarindo existen de 2,000 a 2,500 semillas(SAGARPA,2008).



Figura 1.4 Ruptura de la cáscara del fruto de tamarindo

La semilla de tamarindo es también una rica fuente de almidón, proteína y aceite. Su composición química es la siguiente: carbohidratos 57.1%,proteína 13.3%,agua



11.3%, fibra cruda 8.8 %, grasa 5.4% y ceniza 4.1%. La proteína de la semilla es rica en ácido glutámico (18%), ácido aspártico (11.6%), glicina (9.1%) y leucina(8.2%), pero deficiente en metionina, treonina, valina y cisteína. La proporción de aminoácidos esenciales en la proteína es de 33.6% (SAGARPA, 2008). La semilla es el resultado de retirar la pulpa y las fibras del tamarindo, en algunos lugares se consideran como desperdicio (Bhattacharya *et al.*, 1993).

1.5.1 Usos de la semilla de tamarindo

Las semillas de tamarindo son muy fibrosas, se requiere se muelan en húmedo preferentemente. La Figura 1.5 muestra un corte transversal de la semilla de tamarindo.

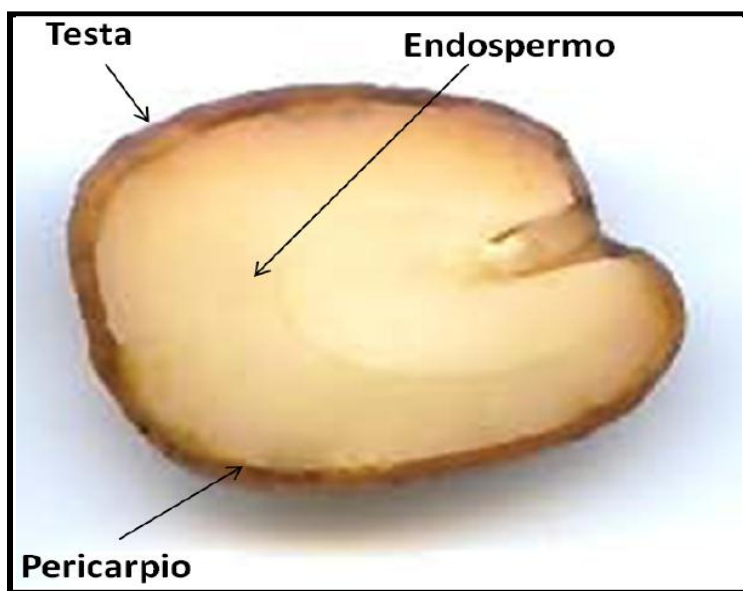


Figura 1.5 Corte transversal de la semilla de tamarindo

Una vez pulverizadas las semillas de tamarindo la industria textil la utiliza como materia prima y es tres veces más eficiente y más económico que el almidón de maíz utilizado en el barnizado y terminado de telas de algodón y yute. Es también usado comúnmente para la costura de materiales caseros. Otros usos industriales incluyen el empleo en la impresión a color de textiles, papelería, tratamiento de



cueros, manufactura de un plástico estructural, pegamento para madera, estabilizador en ladrillos, conglomerado de aserrín para la elaboración de carbón y un espesante de algunos explosivos. Las semillas de tamarindo producen un aceite de color ámbar que es útil como iluminador y como un barniz utilizado para pintar muñecas e imágenes. El aceite es apetitoso y de buena calidad culinaria y de múltiples usos (SAGARPA,2008).

1.5.2 El polisacárido de la semilla de tamarindo(xiloglucano)

La semilla de tamarindo tiene un polisacárido que se encuentra únicamente dentro del grano. El polisacárido de la semilla de tamarindo está constituido por D-galactosa, D-Xilosa y D-Glucosa en la proporción de 1: 2: 3, más específicamente separada por 2,3,4, trimetil-Xilosa, (1.06 partes), 3,4-dimetil-Xilosa (1.07 partes), 2,3,4,6 tetrametil-Galactosa (1.02 partes), 2,3-trimetil glucosa (0.86 partes) y 2,3-dimetil-Glucosa (1.96 partes). Tiene excelentes propiedades espesantes, emulsionantes, gelificantes que puede ser utilizado como un sustituto del almidón y pectina, a pesar de que estructuralmente es muy diferente a estos. La semilla de tamarindo está formada de diferentes tipos de proteínas, como sigue: 1.1% de prolamina, 8.5% de albumina y 5.65% de gluteina. La prolamina, contiene grandes cantidades de los aminoácidos prolamina y glutamina pero solo pequeñas cantidades de arginina, lisina e histidina. La albumina es la proteína sérica más abundante, tiene un peso molecular de 65 y consta de 584 aminoácidos y contiene hidratos de carbono, es soluble en agua y enagua parcialmente saturada con sales como sulfato de amonio(Mishra y Malhotra, 2009).

La semilla de tamarindo, posee un polisacárido denominado xiloglucano que a su vez está constituido por monosacáridos como lo es la glucosa, xilosa y galactosa descritos en la Figura 1.6

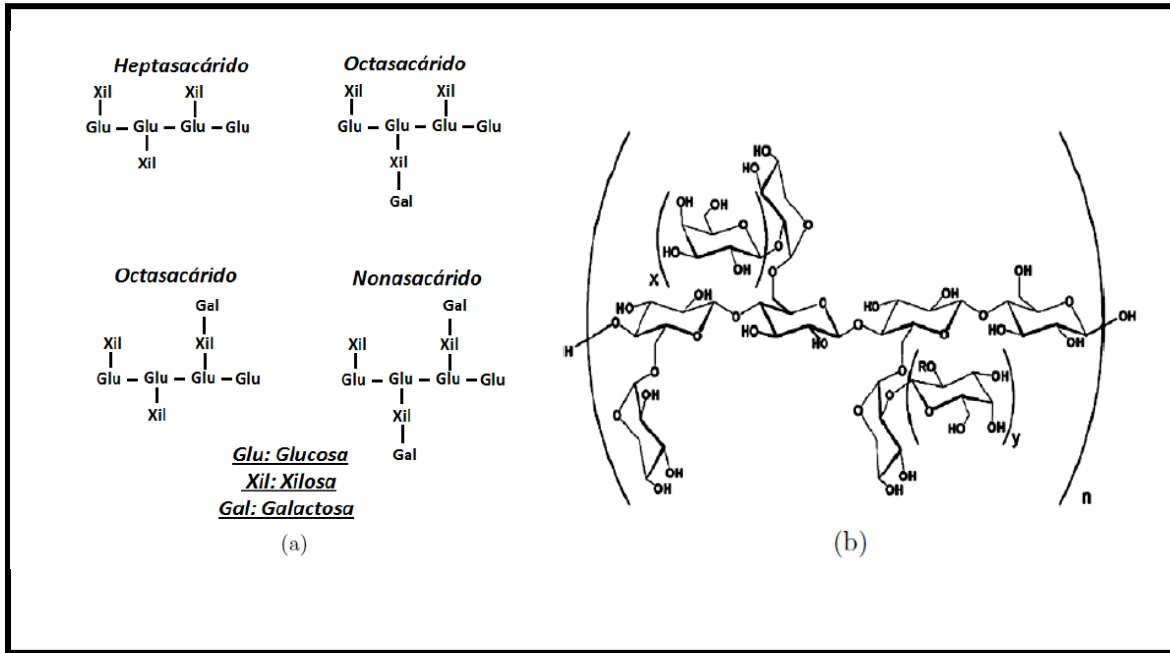


Figura 1.6 Componentes del xiloglucano de la semilla de tamarindo

El xiloglucano (XG) de la semilla de tamarindo también es llamado goma de tamarindo, y es muy utilizado como aditivo en comida procesada para mejorar propiedades como viscosidad y textura. El XG de la semilla de tamarindo es un heteropolisacárido entrecruzado como se puede observar en la Figura 1.6 (a). La unidad estructural de XG del tamarindo son, heptasacáridos, octasacáridos y nonasacáridos representada en la Figura 1.6 (b) (Mishra y Malhotra, 2009).

La mayoría de los XG son procesados en pequeña o mediana escala y el producto no es uniforme o de calidad reproducible. Generalmente los XG son tan finos que más del 90% de ellos son procesados a través de tamices con aperturas de 60 micrones. El polvo es generalmente mezclado con algunos preservativos, como fenoles clorados, benzoatos y bisulfatos, para evitar el enranciamiento. Se ha estimado que entre 60 y 80 mil toneladas de XG son procesados en la India. El xiloglucano se entrecruza con las microfibrillas de celulosa (ver Figura 1.7a) como se puede apreciar en la Figura 1.7 (b) y este xiloglucano da flexibilidad al tejido.

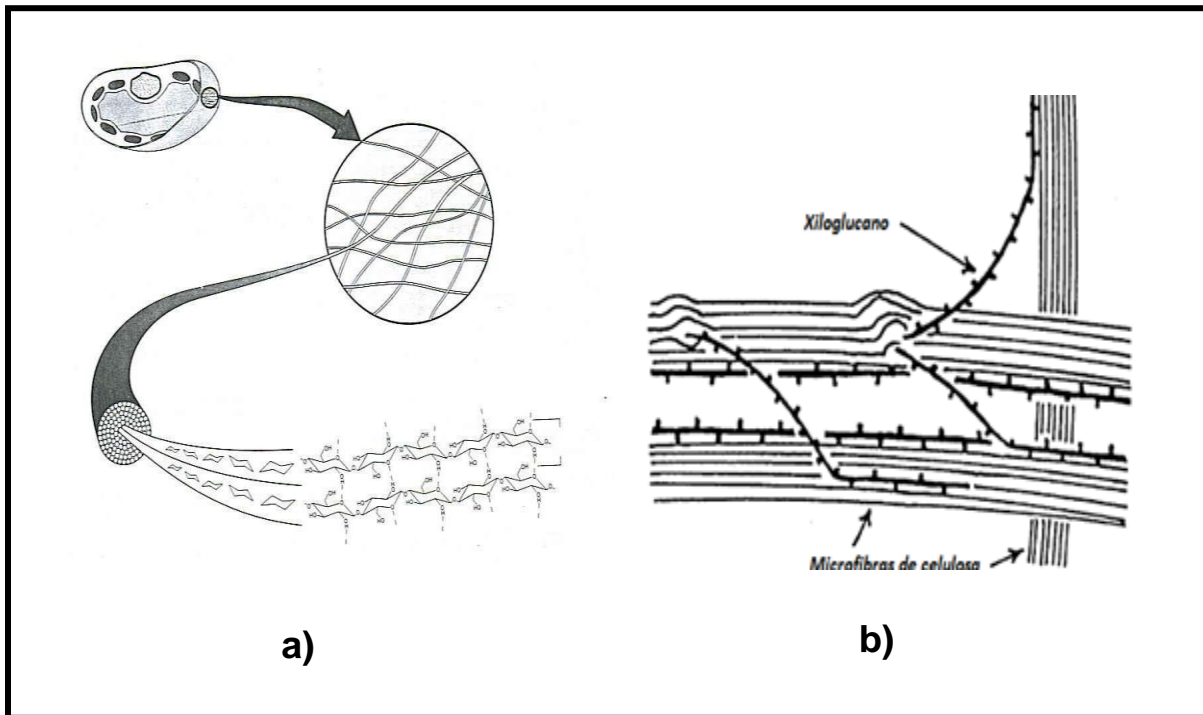


Figura 1.7 Fibras en pared celular a) Microfibrillasde celulosa b)Xiloglucano (Fennema, 2009)

El xiloglucano tiene bajo peso molecular, comparado con otros polisacáridos es soluble en agua y se disuelve mejor a temperaturas por arriba de 40 °C. La máxima viscosidad que alcanza, es obtenida después de unos 30 min de hervir la dispersión. Una dispersión viscosa es formada, y forma un gel, que cuando se enfría produce películas transparentes y quebradizas mediante evaporación. El XG pueden gelarse con agua y precipitarse en presencia de solventes como acetona o algún alcohol o altos niveles de azúcares, también tiene una buena estabilidad cuando es calentado. Soluciones de XG poseen un fluido no-newtoniano reológicamente, y la viscosidad es reducida cuando éstos sufren un incremento de temperatura(Mishra y Malhotra, 2009).Las soluciones acuosas de XG exhiben un comportamiento de un fluido newtoniano a bajas concentraciones (<0.5% w=w). La estabilidad del polisacárido de la semilla de tamarindo ante el calor, medios ácidos y básicos, pueden atribuirse a su alto grado de sustitución del esqueleto, lo cual en cierta medida lo escuda de agentes que puedan ser



hidrolizantes. En la industria alimenticia, se usa el XG para mejorar las propiedades reológicas y térmicas de muchos productos. Se utiliza como aderezo de salsas, estabilizante en leche descremada, mantequillas, café instantáneo, jarabe de glucosa, mayonesa, queso, emulsiones, agente gelificantes en pudines, postres y confitería, gel de baja liberación de agua, yogurt, retiene agua, agente de recubrimientos, preventor de viscosidad en geles medicinales, agente espesante en mermeladas, espumas, inhibidor de cristalización en helados, alimentos congelados fritos, agente deshidratante en productos granulares entre otras cosas (Nishinari y Zhang, 2005).

1.5.3 Toxicidad del xilogucano de semilla de tamarindo

La parte carnosa de las semillas de algunas frutas pueden ser tóxicas, ya que contienen un precursor del cianuro, aunque la cantidad es muy pequeña y, consumida en las raciones habituales, no causa trastornos. El cianuro es un potente veneno que "asfixia" la célula, bloquea la cadena respiratoria celular e impide que ésta pueda utilizar el oxígeno, elemento imprescindible para su función. Algunas almendras amargas también contienen amigdalina que, en contacto con la saliva, se convierte en un precursor del cianuro. De ahí que en los tratados clásicos de criminología se describa que los envenenados con cianuro desprenden un olor característico a almendras amargas. Las almendras dulces, cuando están tiernas, también contienen este principio, aunque en menor cantidad, ya que al madurar pierden este componente. En el caso de la semilla de tamarindo cuando se utiliza para la industria alimentaria, debe removerse la testa completamente, la cual se realiza mediante un tostado o se remoja y se pela, donde también se descortifica el endospermo, a fin de evitar efectos indeseables como el estreñimiento o la diarrea, posteriormente la semilla húmeda se muele y seca para obtener sólidos granulares de color marfil, con eso se asegura que se pierde su toxicidad (Avachatet *al.*, 2013).



1.6 Recubrimientos y películas comestibles

Las películas y recubrimientos comestibles se han utilizado por siglos para impedir la pérdida de humedad y crear una superficie brillante de frutas, vegetales, quesos, carnes con fines estéticos. En cambio, el término, recubrimiento comestible, sólo en los últimos 50 años, se ha empleado en aplicaciones alimenticias. En la mayoría de los casos, término utilizado en la industria para indicar que la superficie de un alimento está cubierta por una capa relativamente delgada de material de cierta composición (Falgera *et al.*, 2011). Recientemente, el interés de los recubrimientos comestibles para la aplicación en alimentos se ha visto incrementado para la conservación de una amplia variedad de alimentos principalmente frutos y vegetales frescos.

González-Aguilar *et al.* (2010) mencionan que los recubrimientos comestibles se pueden dividir en proteínas, polisacáridos, lípidos y mixtos. Define a estos como una capa muy delgada de material comestible formado en la superficie del alimento o colocado entre los componentes de los alimentos. Éste tipo de recubrimientos ayuda a extender la vida útil de un alimento, además de proporcionar una barrera contra los riesgos. Estos pueden ser por pérdida de humedad debido a la migración o la pérdida de los compuestos volátiles. El recubrimiento ayuda a retardar la respiración y los cambios en las propiedades texturales. Se considera parte integral del alimento y puede ser ingerida.

Existen recubrimientos y películas, con tamaños de partícula milimétricos, como micro y nano particulados (Zambrano-Zaragoza *et al.*, 2014)

1.6.1 Componentes en la elaboración de recubrimientos

Los recubrimientos comestibles deben cumplir una serie de requisitos para poder ser empleados en los frutos frescos cortados, entre ellos se encuentran los de ser considerados como sustancias seguras (no tóxicas), ser estables en condiciones de alta humedad relativa, buena barrera al vapor de agua, al oxígeno y al dióxido de carbono, presentar buenas propiedades mecánicas y de adhesión a la fruta, ser sensorialmente aceptables y ser estables tanto en el punto de vista fisicoquímico



como microbiológico, deben de ser de un costo razonable y transparentes (Rojas-Graüet *al.*, 2009).

Los biopolímeros utilizados para los recubrimientos de frutas, al ser consumidos deben ser inocuos evitando causar riesgos a la salud del consumidor. Las películas y recubrimientos comestibles están formados por tres componentes principales: polímero, solvente y plastificante. Se considera polímero al componente mayoritario de una película comestible.

Los principales componentes de las películas y recubrimientos comestibles pueden clasificarse, básicamente, en tres categorías principales; hidrocoloides (proteínas y polisacáridos), lípidos y mezclas o combinaciones de las dos anteriores (Baldwin y Hagenmaier, 2012; Tharanathan, 2003). Las propiedades de cada PC y cada RC dependerán del tipo de material con el que estén elaboradas (Baldwin y Hagenmaier, 2012).

Durante la elaboración, los materiales para películas deben ser dispersados y disueltos en un solvente como agua, alcohol o mezcla de agua y alcohol o una mezcla de otros solventes. Plastificantes, agentes antimicrobianos, aditivos de color y sabor pueden ser agregados durante este proceso.

a) Polisacáridos

Los polisacáridos son cadenas largas lineales o ramificadas formadas por unidades glucosídicas, aunque también pueden contener unidades de fructano, entre otras. Además, poseen grupos hidroxilo por lo que son capaces de formar puentes de hidrógeno con el agua y en consecuencia hidratarse y disolverse total o parcialmente haciendo que la viscosidad de la fase acuosa aumente o inclusive se dé la formación de un gel (Baldwin y Hagenmaier, 2012).

Los recubrimientos hechos a base de polisacáridos han sido los más utilizados para recubrir frutos, y esto debido a sus propiedades mecánicas de adherencia y flexibilidad en la superficie en los productos hortofrutícolas, muestran mejores propiedades de barrera a los gases, aunque tienen alta permeabilidad al vapor de



agua (Oms-Oliuet *et al.*, 2008). Son los hidrocoloides que más se utilizan como recubrimientos y forman parte de la mayoría de las formulaciones que actualmente existen en el mercado, debido a que presentan buenas propiedades mecánicas, barrera a los gases y adhesión, a demás, estos recubrimientos tienen ciertas ventajas potenciales, no son grasosos, son películas de bajas calorías y pueden emplearse para extender la vida de anaquel de frutas y hortalizas sin alto riesgo de desarrollar condiciones de anaerobiosis, por lo que su aplicación en la agricultura se ha vuelto popular debido a sus propiedades para modificar la atmósfera interna de una manera similar a las atmósferas controladas. Dentro de los polisacáridos que han sido probados, para ser usados en películas y recubrimientos comestibles, se incluyen derivados de celulosa, almidón y sus derivados, quitosano, carrageninas, pectinas, alginatos y gomas como el agar de algas marinas y el mucílago de nopal, entre otros (Baldwin y Hagenmaier, 2012; Del-Valle *et al.*, 2005; Abraján-Villaseñor, 2008).

- **Celulosa y sus derivados**

La celulosa es un polisacárido compuesto por unidades de D-glucosa que son altamente permeables al vapor de agua, constituye uno de los RC y PC más empleados en productos frescos, ya que posee formas solubles no iónicas, tales como la metilcelulasa (MC), y formas aniónicas, como la carboximetilcelulasa (CMC) que le confieren excelentes propiedades mecánicas y funcionales (Aguilar, 2005).

- **Quitosano**

Este polisacárido de alto peso molecular, normalmente obtenido por acetilación alcalina de la quitina proveniente de crustáceos, es ampliamente utilizado como RC, es efectivo para prolongar la vida útil y mejorar la calidad de frutas ya que presenta una alta permeabilidad selectiva frente a los gases, una ligera resistencia al vapor de agua, además de poseer propiedades antifúngicas (Quintero *et al.*, 2010).



- **Pectinas**

Las pectinas son un importante constituyente de la pared celular de muchas plantas. Comercialmente las pectinas son extraídas del bagazo de manzanas o de la piel de frutos cítricos, las pectinas de bajo grado de metoxilación se emplean normalmente en la elaboración de recubrimientos ya que son capaces de formar geles firmes en presencia de iones de calcio, los cuales establecen puentes estables con los grupos carboxilos de la pectina (Rojas-Graü, 2006).

- **Gelano**

El gelano es un polisacárido secretado por la bacteria *Pseudomonas elodea* es un hidrocoloide multifuncional el cual puede ser usado en una amplia variedad de productos alimenticios que demandan procesos de gelificación, texturización, estabilización, suspensión y formación de películas. Este polisacárido es capaz de formar recubrimientos con buenas propiedades mecánicas y de barrera, además de ser un gel de apariencia transparente (Rojas-Graü, 2006).

- **Almidón**

El almidón es uno de los materiales crudos más comúnmente empleados en la agricultura ya que es económico, fácilmente disponible y relativamente fácil de manipular, la amilosa es el compuesto responsable de la formación de recubrimientos en el almidón y su uso para tal fin se ha extendido en los últimos años, los recubrimientos con este material presentan baja permeabilidad al oxígeno (Rojas-Graü, 2006).

- **Mucílago**

El mucílago es una sustancia pegajosa, gelatinosa y absorbente de agua. Su naturaleza química en general es comparable con las regiones ramificadas de las moléculas de pectina; como complejo polisacárido posee características biofísicas que son deseables para la industria cosmética y de alimentos, principalmente como agente estabilizantes alimentario (Cárdenas, 1997), es un complejo polimérico de sustancias naturales de carbohidratos, con ramas altamente estructuradas que contienen varias proporciones de L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa y D-xylosa, como abundante ácido galacturónico en diferentes



proporciones. La estructura del mucílago está pensada como dos fracciones distintivas solubles en agua (agua-soluble). La primera es una pectina con propiedades gelificantes con Ca^{2+} y la otra es un mucílago sin propiedades gelificantes (Matsuhira y col. 2006). El mucílago de nopal se ha usado de manera exitosa, en diversos estudios, en la elaboración de recubrimientos comestibles, aplicados en ciruela, fresa, guayaba y manzana (Del-Valle *et al.*, 2005; Zambrano-Zaragoza *et al.*, 2014), lo cual resulta un método efectivo para prolongar la vida útil y preservar la calidad de postcosecha de los alimentos.

b) Proteínas

Las películas y los recubrimientos a base de proteínas proveen una buena barrera a gases como el O_2 y el CO_2 , pero con barreras más débiles al vapor de agua por su naturaleza hidrofílica, tienen una gran susceptibilidad a los cambios de pH y pueden proporcionar un valor nutricional agregado, además de poseer buenas propiedades mecánicas (Tharanathan, 2003).

Las proteínas utilizadas para la formación de películas y recubrimientos son derivadas de diferentes fuentes de animales y plantas, tales como tejidos de animales, leche, huevo, granos y oleaginosas. Las proteínas más comunes son caseínas, colágeno, gelatina (grentina), proteínas de leche y derivadas de cereales, entre otras.

La capacidad de diferentes proteínas para formar recubrimientos depende de su peso molecular, conformaciones, propiedades eléctricas y estabilidad térmica. Las proteínas de leche son la fuente más común para obtener recubrimientos (Campos *et al.*, 2011).

- **Proteínas de soya**

Entre las proteínas formadoras de películas, las de soya han sido estudiadas por su excelente capacidad para formar películas y sus buenas propiedades de barrera al oxígeno y a los lípidos, en bajas humedades relativas. Los enlaces disulfuro intermoleculares, las interacciones hidrofóbicas y los puentes de hidrógeno son, en orden de importancia, las principales fuerzas asociativas



involucradas en la formación de películas de proteínas de soya (Cho y Rhee, 2004).

- **Caseína**

La caseína, es una proteína de la leche ligeramente soluble en agua, puede dar lugar a recubrimientos con buenas propiedades mecánicas, además de no conferir ningún tipo de color u olor diferente del alimento donde se aplica. Debido a su alta permeabilidad al vapor de agua, necesita de otras sustancias para que mejoren sus propiedades de barrera. Por ejemplo, la incorporación de lípidos en recubrimientos de caseínas proveen una buena protección para frutas y vegetales contra la pérdida de agua y el oscurecimiento enzimático (Baldwin *et al.*, 1995).

- **Proteínas de suero**

Las proteínas del suero representan el 20% del total de las proteínas presentes en la leche y son consideradas de muy alta calidad. Contienen cinco grupos importantes: Beta-Lacto globulina, Alpha-lactalbuminas, Inmonoglobulinas, albúmina de suero de bovino y proteosa-peptona. Las coberturas a partir de proteínas de suero aisladas poseen alta permeabilidad a los gases y han sido probadas en frutas. Un estudio realizado en manzanas Fuji cubiertas con este de recubrimiento comestible indicó que dichas coberturas son buenas barreras al intercambio gaseoso (Cisnero-Zeballos y Krotcha, 2003).

- **Zeína**

La zeína es una proteína natural del maíz, insoluble en agua, pero soluble en soluciones acuosas de alcohol, glicerol y esteres de glicerol, posee buenas propiedades para formar coberturas, además de excelentes propiedades de adhesividad y buena barrera al oxígeno, aunque por su elevada hidrofiliidad y fragilidad requieren la adición de agentes plastificantes como el glicerol (Gennadios y Weller, 1991). Park *et al.* (1994) utilizaron zeína de maíz para elaborar coberturas comestibles y las utilizaron para recubrir tomates, obteniendo una reducción de cambios de color, pérdida de peso y firmeza de los frutos.



c) Lípidos

Los recubrimientos a base de lípidos son muy eficientes para reducir la deshidratación de los productos debido a su baja polaridad y presentan una escasa permeabilidad al vapor de agua (Kester y Fennema, 1986). Las películas y recubrimientos, preparadas con lípidos, debido a su naturaleza hidrofóbica, tienen una baja afinidad al agua lo que les confiere buenas propiedades de barrera al vapor de agua. Además, conforme aumenta la polaridad, ramificación e insaturación en ellos, su permeabilidad a vapor de agua se incrementa. Las películas a base de estos compuestos son relativamente inflexibles, gruesas y con pobres propiedades mecánicas, debido a su naturaleza hidrofóbica, aunque en ciertas ocasiones son más brillantes. Asimismo, los lípidos y las ceras tienden a ser más permeables a gases (Baldwin y Hagenmaier, 2012).

Estos recubrimientos presentan algunas limitaciones tales como, propiedades mecánicas pobres y en ocasiones mala apariencia (García *et al.*, 2000); es por eso que los lípidos son mezclados con otras sustancias como polisacáridos y proteínas, ya que estas combinaciones proporcionan al recubrimiento mayor estabilidad (Koelsch, 1994; Martín-Bellosos *et al.*, 2005).

Generalmente las películas y recubrimientos elaborados a partir de ceras han mostrados ser más resistentes al transporte de la humedad que otras películas elaboradas con otros lípidos o resinas. Materiales hidrofóbicos como ceras y ésteres de ácidos grasos han sido aplicados como recubrimientos, observando que presentan excelentes barreras que limitan la transferencia de vapor de agua, no obstante, no poseen la capacidad de formar películas con estabilidad y maleabilidad adecuadas para su manejo, presentan problemas de control de homogeneidad, grosor, superficie grasosa y ruptura (Ruiz, 2004).

Existe una amplia lista de compuestos lipídicos usados para la elaboración de películas y recubrimientos la cual incluye lípidos neutros o triglicéridos, ácidos grasos y resinas, entre otros. Dentro de los compuestos hidrofóbicos más utilizados, se encuentran las ceras de origen animal (de abeja, de grasa de lana y



lanolina), vegetal (carnuba y candelilla, entre otras), sintéticas, (ésteres, amidas, etc.) y minerales (Rhim y Shellhammer, 2005).

d) Compuestos varios

Las películas y recubrimientos pueden producirse a partir de la mezcla de polisacáridos, proteínas y/o lípidos, lo que permite aprovechar las características funcionales distintas de cada compuesto, además de disminuir las ventajas de cada uno. Algunas de las combinaciones que se utilizan son; proteínas y polisacáridos, proteínas y lípidos, carbohidratos y lípidos. El principal objetivo al hacer estas combinaciones es mejorar las propiedades mecánicas y de permeabilidad a gases y/o vapor de agua. Las películas son aplicadas en forma de emulsión, suspensión o dispersión de los constituyentes no miscibles o en capas sucesivas (películas y/o recubrimientos multicapa) en la forma de solución en un solvente común. En recubrimientos compuestos el lípido puede estar emulsionado en la matriz del hidrocoloide, formando lo que se denomina recubrimientos emulsionados o separados de la matriz hidrocoloide formando doble capa, lo que se denomina recubrimiento bicapa (Navarro-Tarzaga, 2007). El método de aplicación influye de manera considerable en sus propiedades de barrera (Baldwin *et al.*, 2012).

1.6.2 Técnicas de evaluación para recubrimientos y películas

Entre las propiedades a evaluar más importantes en las películas y recubrimientos comestibles se encuentran:

- a) **Espesor:** Este influye significativamente sobre las propiedades de las películas, sin embargo, esto no ha sido extensamente estudiado a pesar de que se plantea que el control del mismo es necesario por su influencia sobre las propiedades de transporte, y mecánicas de las películas. El espesor influye sobre la permeabilidad al vapor de agua de las películas y



cubiertas biodegradables hidrofílicas, sin que las causas reales de este fenómeno estén totalmente esclarecidas (Butler *et al.*, 1996).

- b) **Opacidad:** La solubilidad es una medida de la integridad de las películas en un medio acuoso y se define como el porcentaje de materia seca total solubilizada después de 24 h de inmersión en agua destilada. Generalmente, mayor solubilidad indica menor resistencia al agua (Flores *et al.*, 2007).
- c) **Propiedades Barrera:**
- **Permeabilidad al vapor de agua.** La permeabilidad al vapor de agua corresponde a la cantidad de vapor de agua transferida a través del área de la película y del espesor durante un tiempo determinado. El incremento en la permeabilidad de la película indica que la película presenta afinidad al agua que puede ser atribuida a los compuestos hidrofílicos de la formulación (Sturkys *et al.*, 2012).
 - **Permeabilidad a los gases.** El transporte de las moléculas de gas dentro de un recubrimiento comestible consiste en tres pasos. Adsorción del gas de afuera hacia adentro del recubrimiento comestible, difusión del gas dentro del recubrimiento y desorción del gas (Sturkys *et al.*, 2012).
- d) **Propiedades mecánicas.** Desde el punto de vista de su comportamiento mecánico, las películas son quebradizas, frágiles y poco elásticas, lo que da origen a la aparición de grietas y agujeros en su superficie que impiden sus propiedades reguladoras de transporte de gases y vapores, mejorándose esto con la adición de sustancias plastificantes para disminuir la fragilidad y aumentar la elasticidad ya que su propósito principal es modificar las propiedades mecánicas (Cuqet *et al.*, 1996).



Un plastificante es una sustancia de bajo peso molecular no volátil, que reduce la interacción del biopolímero cadena a cadena y ayuda a aumentar la flexibilidad y extensibilidad de los recubrimientos por la reducción de las fuerzas intermoleculares, disminuye su fragilidad, mediante la reducción de los enlaces de hidrógeno internos entre las cadenas de polímero y el aumento de los espacios intermoleculares y debido a su naturaleza hidrofílica (Tapia *et al.*, 2008). Sin embargo, la adición de plastificantes también aumenta la permeabilidad a los gases y al vapor de agua de la película en general y, posiblemente, podría disminuir la resistencia mecánica de la película (Chien-Hsien y Lih-Shiuh, 2008).

Las propiedades mecánicas y de barrera de una película depende de la estructura del polisacárido, la humedad relativa (HR), la composición de la película (por ejemplo, los solutos, lípidos), plastificantes, y otras condiciones ambientales (temperatura, velocidad del secado, la película métodos de formación) (Yang *et al.*, 2010).

El coeficiente de Poisson y el Módulo de Young son parámetros que se relacionan con las propiedades mecánicas de las películas y sus estructuras químicas.

La resistencia a la tracción expresa el esfuerzo máximo desarrollado en una película durante la prueba de tracción. También se denomina como el esfuerzo interno a que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto, y tienden a estirarlo. Un cuerpo sometido a un esfuerzo de tracción sufre deformaciones positivas (estiramientos) en ciertas direcciones por efecto de la tracción. Sin embargo, el estiramiento en ciertas direcciones generalmente va acompañado de acortamientos en las direcciones transversales; si en un prisma mecánico la tracción produce un alargamiento sobre el eje X que



produce a su vez un encogimiento sobre los ejes Y y Z. Este encogimiento es proporcional al coeficiente de Poisson (Sturkysset *al.*, 2012):

e) **Parámetros termodinámicos asociados al fenómeno de sorción en películas y recubrimientos comestibles.**

Las interacciones entre el solvente y el disolvente puede definir la eficiencia de las películas comestibles para controlar la permeabilidad de los gases y por lo tanto la estabilidad del alimento. La relación entre el contenido de humedad total y la actividad de agua (A_w), en un rango de valores, a temperatura constante, dan como resultado isothermas de sorción cuando son expresadas gráficamente. A diferentes temperaturas, la energía asociada a las interacciones de humedad a bajas presiones de vapor de agua puede ser estimada (Sturkysset *al.*, 2012). Se han desarrollado varios modelos matemáticos para describir las isothermas de sorción. Las ecuaciones BET y GAB ha demostrado ser una de las más versátiles para representar los valores de sorción en un rango amplio de A_w . Además, sus parámetros pueden dar información relacionada a las energías de sorción involucradas. El análisis de los datos de sorción, además, ayuda a esclarecer información termodinámica relacionada con el fenómeno de sorción. Anteriormente se ha demostrado que los cambios de entalpía (ΔH) indican variaciones de energía que ocurren en moléculas de agua mezcladas con sorbentes durante el proceso de sorción (Sturkysset *al.*, 2012). Variaciones en la entropía (ΔS) podrían estar asociadas con la disposición espacial de la interface de la matriz del agua en un estado bien definido. La teoría de la compensación entalpía-entropía puede ser aplicada para evaluar procesos físicos y químicos, como lo es el fenómeno de sorción. Esta teoría explica que, al reducir la energía libre durante la sorción, se produce una función lineal en relación con los cambios de entalpía y entropía en el sistema (Sturkysset *al.*, 2012). Cuando varias estructuras poliméricas complejas se relacionan químicamente entre sí,



ocurren cambios en la entalpía y entropía. Si hay un incremento en las fuerzas intermoleculares, se puede generar una reducción en la libertad configuracional del sistema. El módulo de Young o módulo de elasticidad longitudinal es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza. Para un material elástico lineal e isótropo, el módulo de Young tiene el mismo valor para una tracción que para una compresión, siendo una constante independiente del esfuerzo siempre que no exceda de un valor máximo denominado límite elástico, y es siempre mayor que cero (Sturkyset *al.*, 2012).

- f) **Propiedades ópticas.** Se pueden considerar como propiedades ópticas todas aquellas que se perciben con el sentido de la vista. La micro estructura interna y superficial de una película o recubrimiento juega un rol importante en las propiedades ópticas de este. La intensidad de la luz reflejada por el alimento recubierto puede ser medida al calcular la luz reflejada directamente en la interface (entre el aire y la superficie recubierta) y la luz emitida en todas las direcciones por la superficie recubierta, una vez que ésta ha penetrado y se ha esparcido a través del recubrimiento (Sturkyset *al.*, 2012). El brillo de las películas comestibles es afectado por la micro estructura del recubrimiento, en particular por el tipo y cantidad de surfactante empleado en la formulación, la distribución y tamaño de partícula de la fase dispersa, la humedad relativa, tiempo de almacenamiento y la dureza de la superficie (Sturkyset *al.*, 2012). Sin duda, el color es la propiedad óptica más importante. El color sensorial viene determinado por tres atributos psicológicos: tono, saturación y claridad, cuyos estímulos físicos están bien definidos (Villalobos-Carvajal *et al.*, 2009).



1.7 Unidades experimentales (Frutas)

1.7.1 Guayaba

La guayaba de nombre científico *Psidiumguajava* (Figura 1.8) es un miembro importante de la familia dicotiledónea de las Mirtáceas y crece principalmente en México, Pakistán, China, Egipto, Brasil, África del sur, Venezuela, República Dominicana, Kenya, Puerto Rico, Jamaica, Australia y Hawaii (Askar, 1992), es una fruta que puede ser redonda como una manzana o puede ser estrecha de una parte como las peras, (Lawless y Heyman, 1998). Posee una cáscara de textura rugosa de color amarillo de aroma intenso y muy persistente (García-Rivas, 1991). La pulpa puede ser blanca, rosa, amarilla o roja de sabor a ácido; puede contener pocas o muchas semillas dependiendo de la madurez de la misma y debido a su gran contenido de agua, se cataloga como un alimento percedero. En estado silvestre se encuentran frutas de 3 a 10 cm de diámetro y de 50 a 500 g (Jagtianiet *al.*, 1988) pero bajo cultivo, el tamaño se puede incrementar hasta 12.7 cm y el peso hasta 680 g (Askar, 1992)



Figura 1.8 Fruta de guayaba



1.7.2 Manzana

La manzana es el fruto del manzano o *Malus doméstica*, Figura 1.9 uno de los árboles frutales más cultivados en el mundo. Perteneciente a la gran familia de las Rosáceas (más de 2.000 especies de plantas) y es consumida por el ser humano desde hace 20.000 años. Una manzana presenta forma ovoide, aunque con diferente aspecto dependiendo de su desarrollo y variedad, pudiendo disponer de estructura alargada o redonda, tras una piel muy fina, lisa, brillante y comestible, se esconde una carne jugosa, con 84 % de agua, que encierra en el centro numerosas semillas o pepitas (Jagtianiet *al.*, 1988) El tamaño medio de las manzanas comercializadas para el consumo oscila entre los 7 y 9 cm. de diámetro (puede ser ocasionalmente más grande), pesando entre 170 y 250 gramos. Las tonalidades de la piel exterior de las manzanas muestran colores diferentes dependiendo de la variedad: verdes, amarillas, rojas o rojas-verdosas. Su carne, de tonos blanquecinos o verdosos, se torna amarillo-rojiza si mantiene un contacto prolongado con el aire. Las semillas alcanzan colores oscuros.



Figura 1.9 Manzana *Golden delicious*



La manzana es una fruta con textura firme, jugosa, refrescante, de sabor amable y suave (entre ácido y dulce), cuya pulpa desprende una intensa fragancia identificativa. Las manzanas poseen en todo el mundo más de 1.000 variedades diferentes entre las que destacan para el consumo humano: *Red delicious*. Variedad estadounidense de grandes frutos con piel roja. Textura blanda, sabor dulce y especialmente aromático. *Golden delicious*, una variedad de origen americano, en la actualidad una de las más cultivadas en todo el mundo, de piel verdosa, con pequeños puntos oscuros, estructura globular o circular, carne jugosa, dulce y aromática. En el mercado durante todo el año (Jagtianiet *al.*, 1988).

1.7.3 Fresa

Las fresas son el fruto de la planta *fragaria* que se muestra en la Figura 1.10, está formado por el receptáculo, en el que se hallan los aquenios (semillas) de 1-1.5 mm de tamaño y de color claro en la parte expuesta a la sombra y rojizo oscuro la expuesta al sol. Los aquenios pueden estar hundidos, superficiales o sobresalientes de la pulpa lo cual le da esa característica rugosa en la parte exterior, también pueden ser muy o poco numerosos.



Figura 1.10 Fresas enteras



Los sobresalientes aumentan la resistencia de la superficie, pero durante el lavado se desprenden muchos de ellos. Tienen una corona de color verde claro a oscuro (dependiendo el grado de madurez) que nace desde el centro del fruto (Jagtianiet *al.*, 1988). Es consumido en todo el mundo y principalmente producida en Estados Unidos, Bélgica, Canadá, Alemania y China, tiene forma ovoide o globular según la especie, su gran contenido de agua alcanza el 74 % lo cual brinda una gran cantidad de jugo, los frutos son dulces y muy aromáticos, Las fresas son un fruto muy versátil ya que tiene múltiples aplicaciones como lo son agua frutales, mermeladas, helados, licuados entre otros, es un fruto de fácil descomposición, la estructura de la parte exterior depende de la cantidad de semillas que contenga y si no es tratada mecánica y térmicamente correcta, puede perder fácilmente su forma y ser propensa a contaminaciones microbiológicas con mayor facilidad (Jagtianiet *al.*, 1988).

1.7.4 Limón

El limón (*citrus limón*) Figura 1.11 es la tercera especie de cítricos más importante del mundo, por detrás de la naranja y la mandarina.



Figura 1.11 Limón entero y partido



Esta fruta, consumida en forma de zumo, se caracteriza por la gran cantidad de nutrientes beneficiosos para la salud que contiene, como la vitamina C o el potasio. Cultivado en España desde el siglo XV, las condiciones generadas por el clima mediterráneo hacen a esta región idónea para su producción. En la actualidad, España es el principal país productor de limones del mundo, con una producción de 961.000 toneladas, superando a Italia y Turquía. También es el principal país exportador. Las variedades más comunes son: Fino y Verna, y representan más del 95% del total de la superficie de cultivo en España. El limón es una fruta de color verde claro a oscuro (fino y verna) según la madurez del fruto, pero también hay otras especies como la *Eureka* de color amarillo y menor producción a nivel mundial, es redondo, pequeño de 2 a 5 cm, de textura suave y piel gruesa con pequeños poros en la superficie para aumentar la respiración, internamente está constituido por gajos que almacenan el *jugo de limón* (constituye el 77 del porcentaje del fruto) y las semillas del mismo (Jagtianiet *al.*, 1988).



Capítulo 2

Metodología experimental

Para la solución del problema: El xiloglucano de semilla de tamarindo, es un polisacárido formador de películas y /o recubrimientos comestibles, dada esta afirmación, se plantearon los seis objetivos particulares.

OBJETIVO GENERAL:

Evaluar el potencial del xiloglucano de semilla de tamarindo en la formación de una película y/o recubrimiento comestible, analizando la presencia de glucósidos cianogénicos, dureza, flexibilidad, transparencia y nivel de plastificantes para seleccionar el de mayor adherencia a distintos frutos con texturas diferentes

OBJETIVOS PARTICULARES:

Objetivoparticular1

Aplicar un tratamiento térmico a un granulado húmedo de semilla de tamarindo, mediante técnicas de secado, conducción y convección (horneado y tostado) a una deshidratación al 4% de humedad, para la determinación del ácido cianhídrico mediante reacciones colorimétricas.

Objetivo particular 2

Reducir el tamaño de la semilla de tamarindo mediante un molido de martillos estriados y dos cribas de salida, para obtener el consumo de potencia y determinar el rendimiento que pase el tamiz 20 USA

Objetivo particular3

Determinar la influencia de la velocidad de giro, tamaño de partícula, temperatura y sus relaciones entre las variables en la extracción de xiloglucano de semilla de



tamarindo, mediante una centrifuga de discos, evaluando el clarificado obtenido por medio de la técnica de turbidimetría y obtener el mayor rendimiento de xiloglucano con la mejor eficiencia de separación.

Objetivo particular 4

Analizar el potencial del xiloglucano en la formación de películas comestibles mediante la variación de la concentración (2.0, 2.5 y 3.0 %) y determinar la rigidez y transparencia.

Objetivo particular 5

Determinar qué plastificante (sorbitol, glicerol) y su concentración (2, 2.5 y 3 %) tiene afinidad con el xiloglucano, mediante la elaboración de películas comestibles evaluando la rigidez, transparencia y fuerza máxima de ruptura, para seleccionar la formulación más adecuada en la elaboración de recubrimientos comestibles.

Objetivo particular 6

Aplicar un recubrimiento comestible a base de xiloglucano de semilla de tamarindo con glicerol por inmersión en frutas con diferente textura, (manzana, limón, guayaba y fresa) y establecer cuál tiene mayor adherencia.

Desarrollo experimental

Los procedimientos experimentales se resumen en el cuadro metodológico que se muestra en la Figura 2.1, el cual contiene el problema, objetivos, variables, actividades preliminares, niveles de variación, actividades por objetivo, condiciones de trabajo y las técnicas utilizadas para la evaluación de las muestras obtenidas. Considérese éste como un mapa a seguir que proyecta el trabajo conjunto del desarrollo experimental.



Objetivo general: Evaluar el potencial del xiloglucano de semilla de tamarindo en la formación de una película y/o recubrimiento comestible, analizando la presencia de glucósidos cianogénicos, dureza, flexibilidad, transparencia y nivel de plastificantes para seleccionar el de mayor adherencia a distintos frutos con texturas diferentes

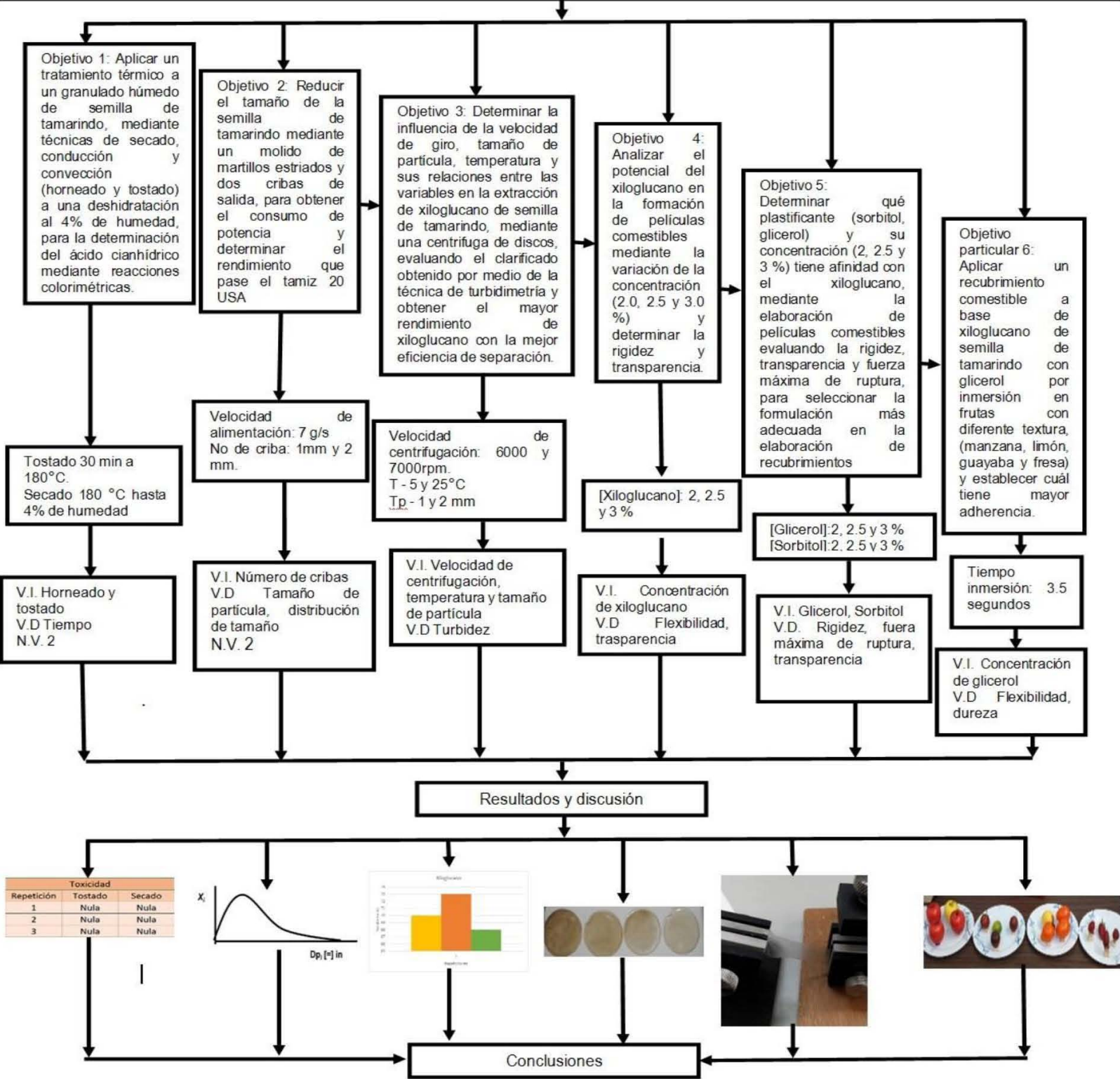


Figura 2.1 Cuadro metodológico del desarrollo experimental.



2.1 Actividades preliminares

2.1.1 Selección y limpieza de la semilla de tamarindo

Se recolectaron tres costales de desecho de semilla de tamarindo, que incluye fibra y cascarilla. Adicionalmente, se compraron tres kilogramos de tamarindo para obtener las partes, cascarilla, fibra, pulpa y semilla, como muestra la Figura 2.2, con esto se realizó un balance de materia para conocer el porcentaje que representa cada componente



Figura 2.2 Partes del tamarindo a) cascarilla, b) fibra, c) pulpa, d) semilla

La semilla obtenida después de retirar la pulpa representa un gran desperdicio industrial. En este trabajo, la semilla de tamarindo es la materia prima que se utilizó para extraer el xiloglucano y se debe conocer el porcentaje que representa. Una vez obtenidas las semillas se lavaron con agua caliente y se dejaron en refrigeración a 5 °C con remojo en agua por tres semanas, se pelaron



manualmente, Después se molieron en un molino de cuchillas 1 minuto para obtener tamaños de partícula de 5 mm promedio, Marca Osterizer Modelo 2316.

2.2 Actividades para el objetivo particular 1

A los sólidos granulares húmedos de semilla de tamarindo se les aplicaron dos tratamientos térmicos: conducción y convección (horneado y tostado) como se puede observar en la Figura 2.3, el tostado se realizó a una temperatura de 180 °C durante 40 minutos en movimiento del material sobre una placa de teflón. b) el secado por convección se realizó a la misma temperatura.



Figura 2.3a) Tratamientos aplicados a los sólidos granulares de la semilla de tamarindo, b) Tostado y c) Horneado.

Ambos tratamientos se aplicaron hasta llegar a un 4% de humedad..Posterior a este proceso, las muestras fueron trituradas en un molino pulvex 200 con criba de salida de 1mm y se realizó con el reactivo de Grignard para determinar la presencia de glucósidos cianogénicos.



Se realizó la determinación del ácido cianhídrico ya que es un componente tóxico volátil, a partir de glucósidos cianogénicos. Se hizo por medio del ensayo de Grignard, el cual se fundamenta que el ácido pícrico en presencia del HCN liberado en la muestra ácida en forma de vapor, genera isopurpurato alcalino de color rojo al rojo-naranja, naranja intenso, o rojo dependiendo su concentración en un transcurso de minutos, es decir, una técnica cualitativa colorimétrica.

Materiales y métodos

Ácido pícrico

Sólidos granulares de semilla de tamarindo.

Reactivos

Reactivo de Grignard Ácido clorhídrico

Cianuro de potasio Cloroformo

Carbonato de sodio Ácido pícrico

Equipo

Espectrofotómetro Termómetro

Estufa Celdas de vidrio

Material

Tubos de ensaye de 20x150 con tapón de hule

Caja Petri Pinzas

Mortero con pistilo Navaja

Tiras de papel filtro cualitativo Matraz Erlenmeyer
(filtración rápida) de 2x10 cm

Pipeta volumétrica de 25 mL Tapón de hule

Probeta de 50 mL Embudo

Vaso de precipitados de 100 mL Hielo



Material para el análisis

1 g de granulado semilla de tamarindo molida con los dos diferentes tratamientos

Desarrollo de la técnica

Nota: La solución patrón de cianuro de potasio, el ácido clorhídrico 0.5 N y el agua destilada estuvieron en baño de hielo antes de iniciar el análisis.

Preparación de la tira reactiva

1. Se cortaron dos tiras de papel filtro de 2x10 cm. Las tiras de papel filtro se sumergieron en el reactivo de Grignard y se escurrieron colocándose en una caja Petri para su secado.
2. Se introdujo la caja Petri que contiene las tiras en una estufa que se programó a una temperatura entre 40 – 50 °C dejándolas 10 minutos.

Preparación de la muestra

NOTA: Antes de comenzar a triturar y pesar la muestra se tuvieron todos los reactivos necesarios en el matraz.

Se realizó el siguiente procedimiento a cada una de la muestra.

1. Se midieron 25 mL de agua destilada con una pipeta volumétrica y se agregaron a un matraz Erlenmeyer de 250 mL y colocándolas en un matraz en baño de hielo.
2. Se adicionó al matraz 1 mL de solución de ácido clorhídrico 0.5 N y dos gotas de cloroformo.
3. Se colocó cuidadosamente la tira reactiva del papel adherido al tapón de hule, tapando de esta manera el matraz de reacción.



4. Inmediatamente se tapó cada uno de los matraces Erlenmeyer con su tapón después de concluir este procedimiento.
5. Se pesaron 200 mg de cada muestra ya molida.
6. Rápidamente se colocó la muestra molida en el matraz Erlenmeyer de 250 mL y se tapó inmediatamente.
7. Simultáneamente se introdujeron en la estufa a 40°C los matraces con las muestras para el análisis y con los correspondientes al estándar de ácido cianhídrico y el blanco durante una hora para aumentar la cinética enzimática en la muestra.
8. Las tiras reactivas no tocaron la solución.

La concentración utilizada de cianuro de potasio fue de 0.24 mg/mL.

Solución de ácido pícrico 0.5 N

Procedimiento

Fueron humedecidas las tiras de papel filtro de 2 cm por 10 cm con solución acuosa de ácido pícrico y se escurrió el exceso, se secaron las tiras en estufa a 50 °C por 10 minutos.

Si el papel se prepara en el momento, el ensayo presenta su máxima sensibilidad, el reactivo tiene una duración indefinida, el papel fue colocado en la boca del recipiente que contenía la muestra a analizar, un color rojo naranja indica un resultado positivo. Transcurrido el tiempo de incubación, los matraces se secaron en la estufa y se dejaron enfriar. Se observaron las tiras reactivas (procedente de muestra analizada, estándar y blanco).



2.3 Actividades para el objetivo particular 2

El granulado de semilla de tamarindo aproximadamente de 5mm de tamaño se redujo en un molino de martillos estriado PULVEX 200 mostrado en la Figura 2.4, la restricción a la salida se llevó a cabo con una criba de 1.0 y 2.0 mm a una velocidad de alimentación de 7 m/s.

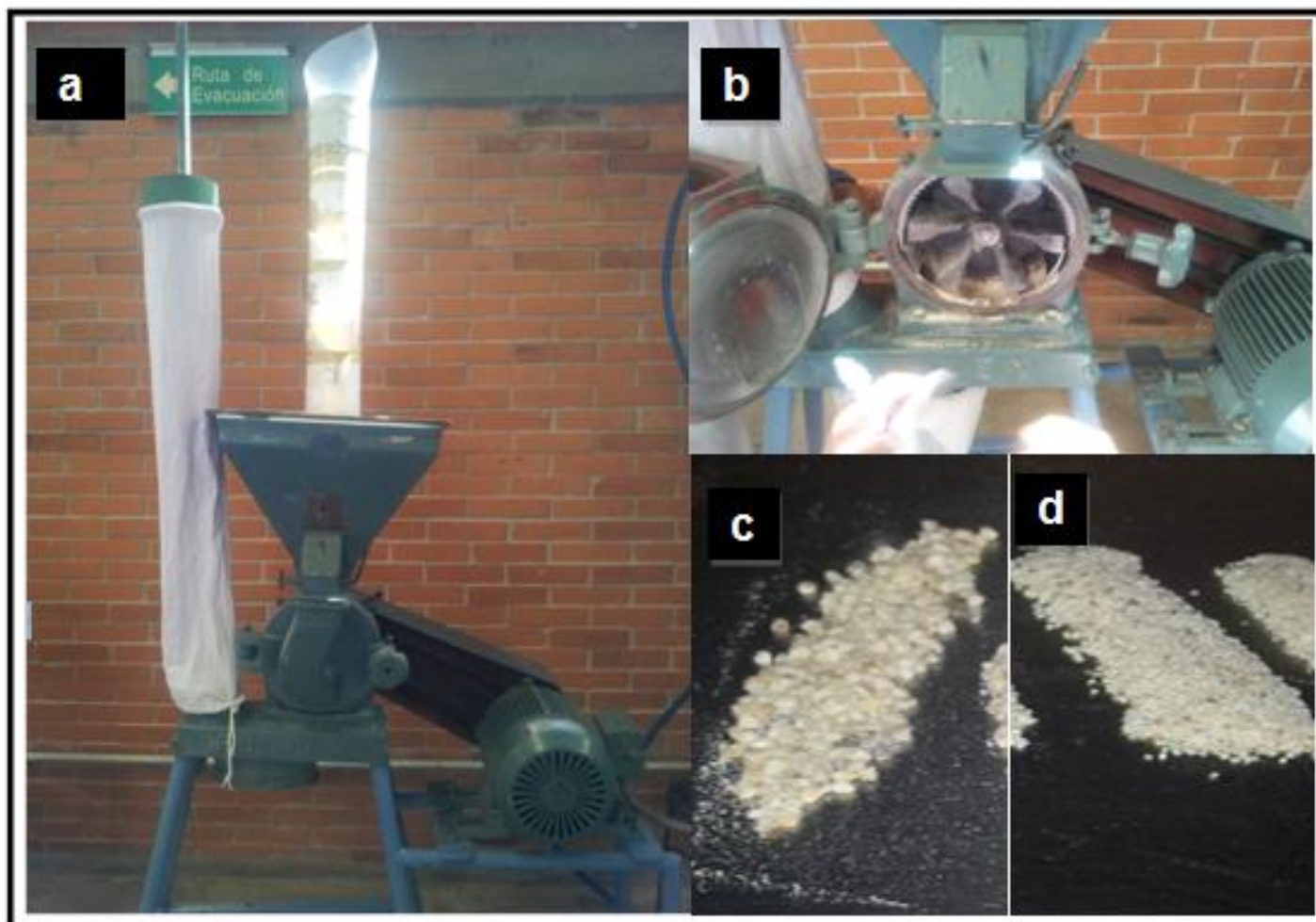


Figura 2.4 a) Molino pulvex en operación. b) Restos de muestra reducida en el molino pulvex. c)Criba de 2.0 mm. d)Criba de 1.0 mm

Utilizando un dosificador (ver Fig. 2.4a) se suministró el granulado de semilla de tamarindo al molino Pulvex 200 (ver Fig. 2.4b).



Se obtuvieron tamaños de partícula que pasará la criba 1 y 2 (ver Fig. 2.4c, d) Se colocó un multímetro digital y se ajustó para determinar la intensidad de corriente en amperes durante la molienda del material. Posteriormente, se aplica la ecuación 2.1 para el cálculo de potencia esto significa, cuanta energía necesitó para realizar el trabajo de molienda.

$$P = V * I (W) \quad \text{ec. (2.1)}$$

Donde:

P: Potencia necesaria para realizar el trabajo (watts)

V: Voltaje (Volts)

I: Intensidad de corriente (amperes)

El rendimiento es la cantidad de producto obtenido a las condiciones requeridas para continuar con el proceso. Para este trabajo fue la cantidad de masa que pasó el tamiz del número 20 serie USA y se calcula según la ecuación 2.2.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Masa retenida}}{\text{Masa total}} * 100 \quad \text{ec(2.2)}$$

2.4 Actividades para el objetivo particular 3

Para la obtención del xiloglucano, se centrifugaron muestras de suspensiones de sólidos granulares de semilla de tamarindo. En la Figura 2.5 se muestra una secuencia de fotografías que evidencian la extracción del xiloglucano a partir de sólidos granulares de la semilla de tamarindo, gelación de la suspensión, centrifugación, precipitación y xiloglucano deshidratado.

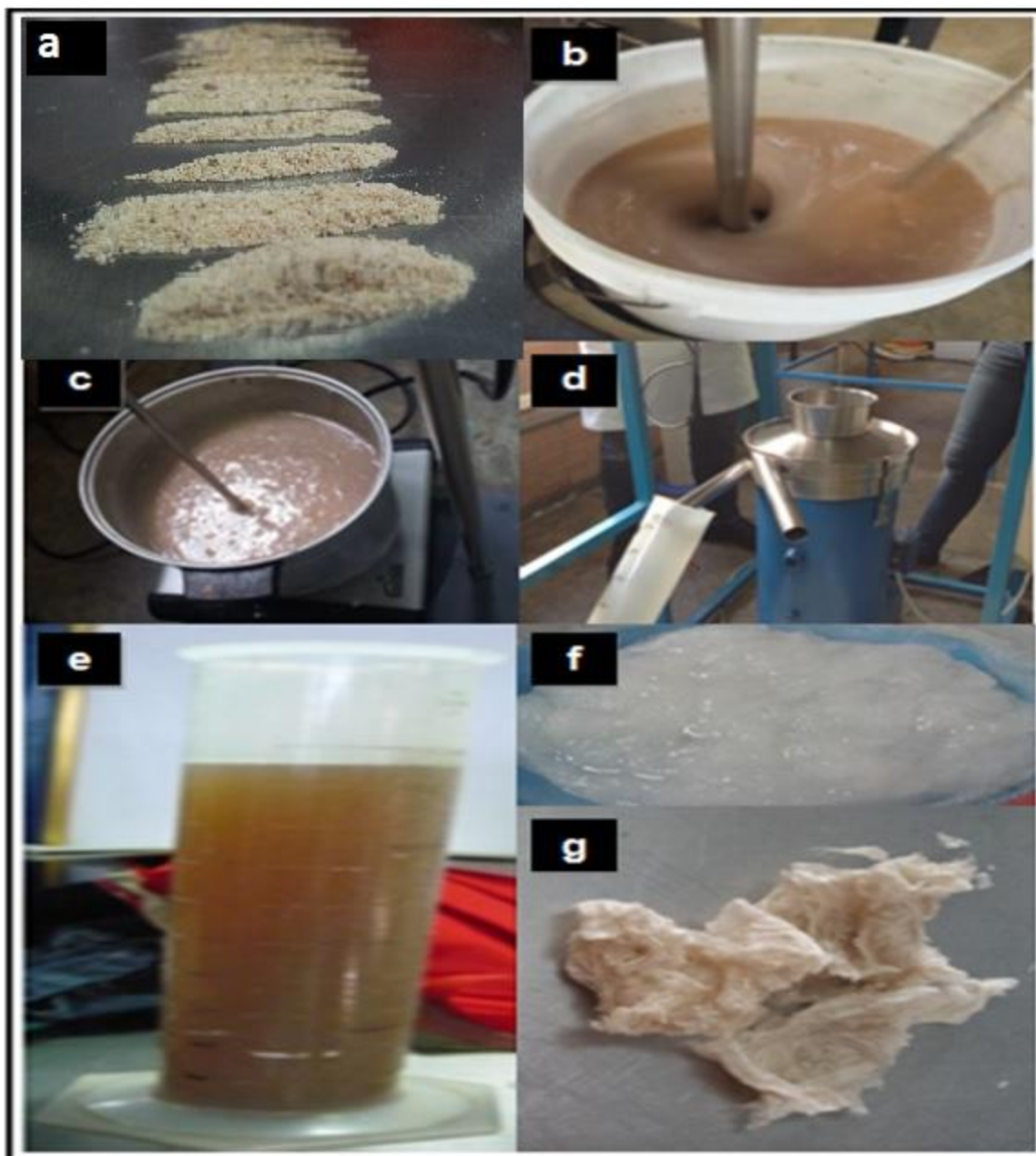


Figura 2.5. a) Sólidos granulares de la semilla de tamarindo de diferentes dimensiones. b) Dispersión de los sólidos granulares de la semilla de tamarindo. c) Gelación de la suspensión de sólidos granulares de la semilla de tamarindo. d) Centrifugación de la suspensión de semilla de tamarindo. e) Fase ligera de la centrifugación. f) Precipitado de xiloglucano con alcohol al 96%. g) Xiloglucano deshidratado.

Se pesaron 160 g de sólidos granulares de semilla de tamarindo obtenidos con cribas de 1 y 2 mm durante la molienda (ver Fig. 2.5a) para preparar una



suspensión de 4 litros. Se utilizó un agitador de propelas para dispersar correctamente (ver Fig. 2.5b), una vez colocado el agitador dentro de un contenedor con 3,840 litros de agua, se inicia el mezclado, con ayuda de una espátula, se vierte lentamente los 160 g de sólidos granulares de semilla de tamarindo para evitar la formación de grumos, una vez que terminó la dispersión, se continúa mezclando por 60 segundos para asegurar la perfecta dispersión de sólidos. Finalizado el proceso, se vierte la dispersión en el recipiente para su calentamiento en una parrilla eléctrica a 70 °C (ver Fig. 2.5c) tomando la temperatura con un termómetro y agitando simultáneamente la dispersión con ayuda de un paleta durante un tiempo de 15 minutos, se deja enfriar la dispersión a temperatura ambiente y se deja sedimentar durante 24 horas, el sobrenadante se centrifuga. Teniendo la dispersión sedimentada, se separa en una centrifuga de discos Marca Didacta Italia, Modelo TAG1/d (ver Fig. 2.5d). La fracción ligera que se obtuvo (ver Fig. 2.5e), se precipitó con alcohol al 96 % con una relación 1:2 (ver Fig. 2.5f) el xiloglucano se deshidrató a una temperatura de 40 °C hasta el 4% de humedad por arrastre de aire (ver Fig. 2.5g) y se molió en un molino de cuchillas para obtener sólidos muy finos. El mismo procedimiento se realizó para los dos tamaños de partícula de los sólidos granulares de semilla de tamarindo y para las corridas experimentales en la centrífuga a temperatura ambiente y a 5°C y a dos velocidades de giro distintas. Esta metodología se utilizó para 8 corridas a diferentes condiciones de operación que se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Tabla de condiciones operacionales en la centrifuga.

No. de corrida	Tamaño de partícula (mm)	Velocidad de giro (rpm)	Temperatura (°C)
1	1	6000	5
2	1	6000	23
3	2	6000	5
4	2	6000	23
5	1	7000	5
6	1	7000	23
7	2	7000	5
8	2	7000	23



Precipitación de Xiloglucano:

Material:

- Vaso de precipitado de 2L
- Vaso de precipitado de 1L
- Probeta de 1L
- Espátula
- Tamiz de 60 USA

Materiales y método

- Balanza a analítica
- Estufa de secado
- Alcohol al 96%

Procedimiento:

1. Tomar 500 mL de la fase ligera de centrifugación (muestra), llevarla a la cámara de refrigeración hasta que llegue a una temperatura de 5 °C.
2. Agregar 1 L de alcohol previamente refrigerado a 5 °C y mezclar perfectamente con la espátula.
3. Esperar a que precipite todo el xiloglucano.
4. Colocar el precipitado en el tamiz 60 USA y esperar a que se drene la mayor parte de líquido.
5. Pasar el precipitado a un recipiente para secarlo.
6. Secar el precipitado en el horno a una temperatura de 40 °C hasta una humedad del 4%
7. Tarar el xiloglucano seco en la balanza analítica para obtener el rendimiento.
8. Colocar el xiloglucano en una bolsa, con su respectiva etiqueta.



2.4.1 Determinación de turbidez de la fase ligera de la centrifuga

La medición de la turbidez de las unidades experimentales obtenidas en la centrifugación se llevó a cabo con un Turbidímetro marca Hanna Instruments, modelo LP 2000, Carcat. Gral. Precision Bench Turbidity Meter como muestra la Figura 2.6.

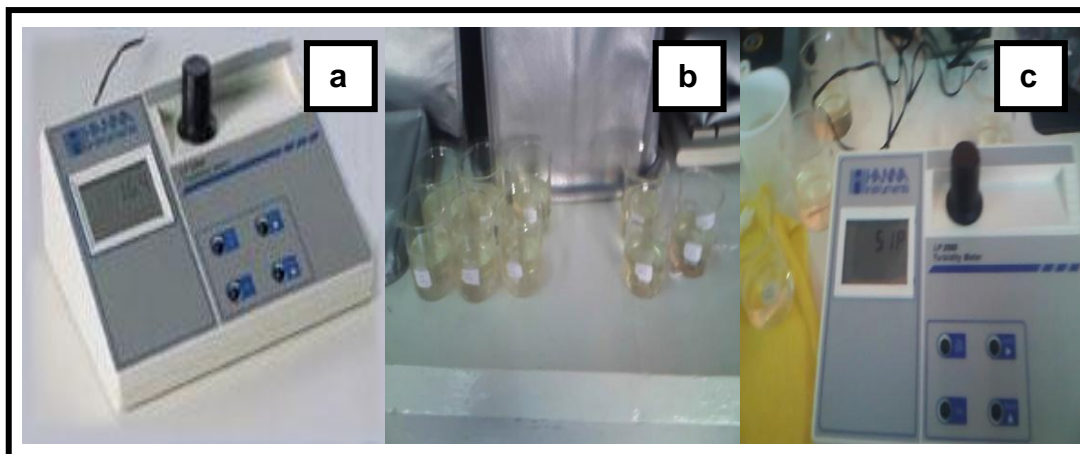


Figura 2.6 a) Turbidímetro Hanna Instruments. b) Muestras de xiloglucano obtenido a diferentes condiciones. c) Lectura de muestras.

La Figura 2.6 (a) muestra el turbidímetro, la fracción soluble se vertió en un vaso de precipitados de 100 mL como se muestra en la Figura 2.6 (b); dicho procedimiento se llevó a cabo por triplicado para cada una de las muestras de xiloglucano obtenidas a las diferentes condiciones de operación. Se calibró el turbidímetro con agua destilada, misma que fue utilizada para la preparación de las suspensiones. Una vez calibrado el equipo, se colocaron 10 mL de la muestra en la celda de cuarzo previamente mezclada para homogenizar los sólidos presentes y evitar lecturas erróneas. Es importante no tomar la celda directamente con las manos, debido a que podemos interferir con la lectura al ensuciar la celda de cuarzo. Los resultados de turbidez son de lectura directa en el instrumento ya que cuenta con un displayal frente Figura 2.6 (c). Es indispensable que después de cada lectura, la celda de cuarzo sea enjuagada con agua destilada. Todas las corridas se realizaron por triplicado para cada condición experimental.



2.4.2 Determinación del rendimiento

El rendimiento es la cantidad en gramos de xiloglucano obtenido con respecto a los sólidos granulares de semilla de tamarindo utilizados y se calcula según la Ecuación 2.3.

$$\text{Rendimiento} = \frac{X_i}{S_{gt}} * 100 \quad \text{ec. (2.3)}$$

Donde:

X_i : gramos de xiloglucano seco

S_{gt} : gramos de sólidos granulares de semilla de tamarindo

El rendimiento se obtiene de la precipitación de la fracción de la fase ligera de la centrifuga de discos con una relación 1:2 de alcohol etílico 96°. El xiloglucano obtenido se filtró en un tamiz 60 USA para drenar la solución y retirar el exceso de líquidos. Posteriormente, el xiloglucano se deshidrató a hasta un 4 por ciento y se pesó en una balanza analítica.

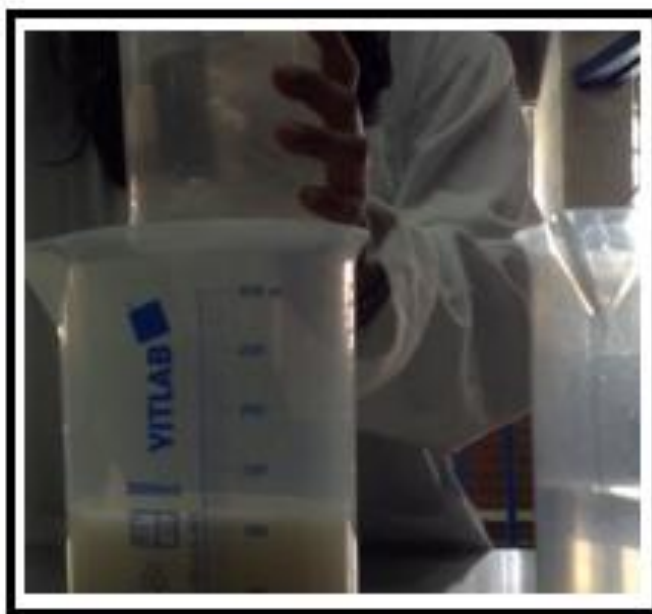


Figura 2.7 Precipitación de xiloglucano de semilla de tamarindo.



2.4.3 Determinación de la eficiencia de separación.

La eficiencia puede considerarse como la fase ligera obtenida de la centrifugación y se calcula según a la ecuación 2.4

$$\text{Eficiencia} = \frac{V_{fl} * T_f}{V_t * T_i} * 100 \quad \text{ec. (2.4)}$$

Donde:

V_{fl} : Volumen fase ligera

T_f : Turbidez Final

T_i : Turbidez Inicial

V_T : Volumen total

2.5 Actividades para el objetivo particular 4.

El xiloglucano obtenido como se muestra en la Figura 2.8, se utiliza para la preparación de las películas a diferentes concentraciones.

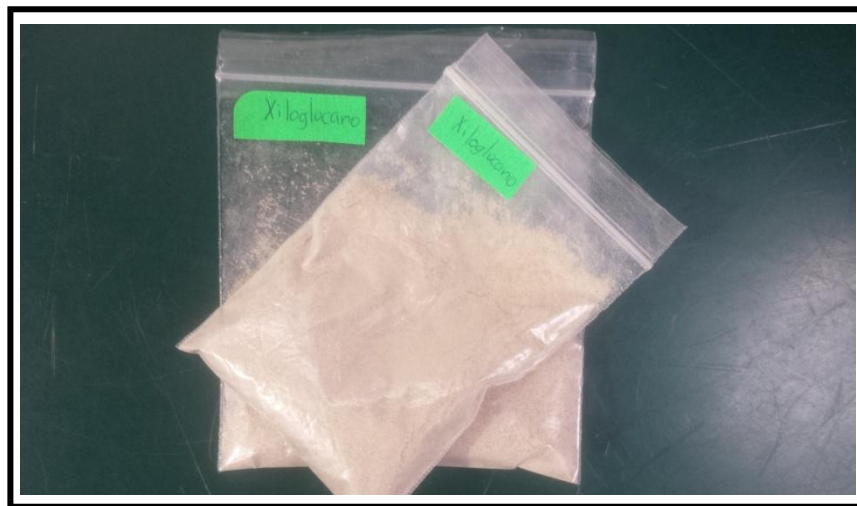


Figura 2.8. Xiloglucano molido

El xiloglucano es soluble en agua, la dispersión de xiloglucano se realizó con temperatura para evitar la formación de grumos y tener mayor homogeneidad en la dispersión.



En la Figura 2.9 se muestra el control de temperatura durante la dispersión del xiloglucano.

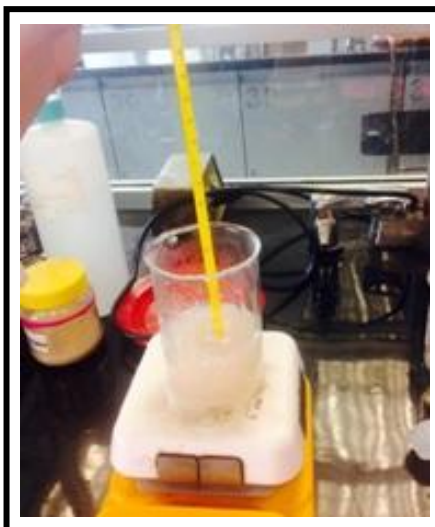


Figura 2.9 Control de temperatura en la dispersión de xiloglucano

Se prepararon 25 mL de solución de xiloglucano a 3 diferentes concentraciones (2.0, 2.5 y 3.0 %) pesando 0.5, 0.625 y 0.75 g de xiloglucano y se diluyeron en 24.5, 24.375 y 24.25 mL de agua respectivamente, con ayuda de agitación magnética, se calentó a 70 °C durante un tiempo de 45 minutos, transcurrido este tiempo, se extrajo el aire incorporado en un matraz kitasato como sistema de vacío, una vez libre de aire, se vierte en recipientes plásticos para su secado por arrastre de aire que se llevó a cabo en una cámara cerrada de acrílico de 50X50 con ayuda de un ventilador comercial.

2.6 Actividades para el objetivo particular 5

Una vez establecida la concentración del xiloglucano, se preparan los materiales es decir los plastificantes seleccionados como el sorbitol, glicerol. En la Figura 2.10 se muestran los materiales para la elaboración de la película. Se utilizaron concentraciones de 2, 2.5 y 3 % de sorbitol y glicerol.



Figura 2.10 Xiloglucano, sorbitol y glicerol listos para elaborar películas

En la elaboración de películas de xiloglucano con dos diferentes plastificantes mostrados en la Figura 2.10 a concentraciones de 2, 2.5 y 3 %. En la Figura 2.11 se muestra el procedimiento para la elaboración de películas.

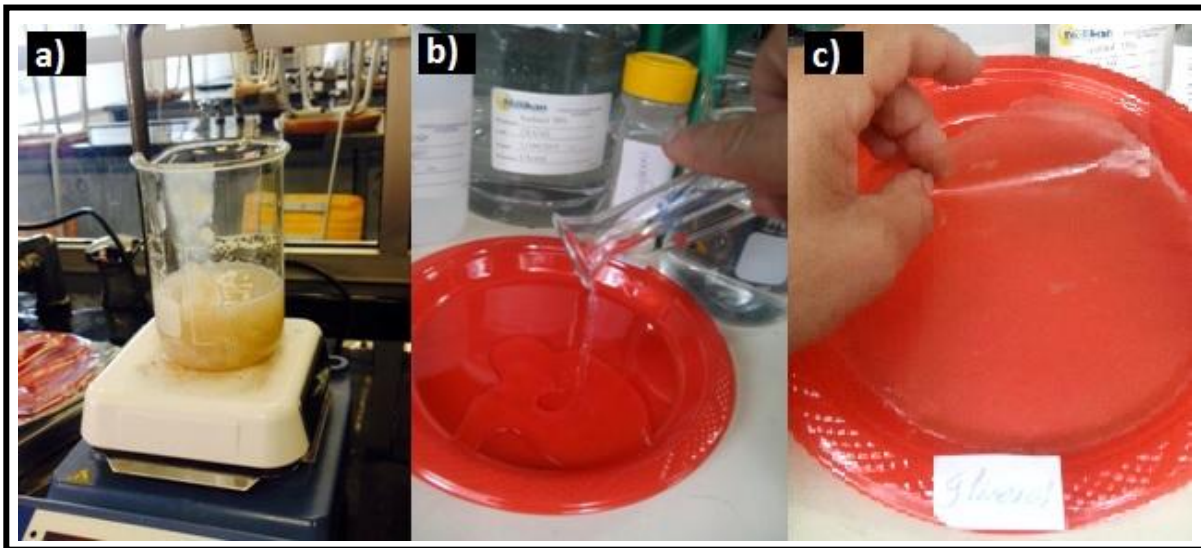


Figura 2.11 a) Dispersión de xiloglucano con temperatura b) Glicerol en un recipiente plástico c) Película de xiloglucano con glicerol.



Una vez obtenido el xiloglucano como sólido granular, con ayuda de una espátula y vidrio de reloj, se coloca en un vaso de precipitados de 250 mL, se mide el volumen de agua destilada indicada para cada disolución en el vaso de precipitado (ver Fig. 2.11 a). Se vierte lentamente el xiloglucano para hidratarlo. La solución debe mantenerse en agitación (4-5 rpm) y sometida a calentamiento (70 °C) para lograr una buena dispersión. Terminando de incorporar todo el xiloglucano en el agua se retira del calor, se agrega el plastificante y continua en agitación. Una vez incorporados todos los componentes y con ayuda de una pipeta se toma una cantidad de volumen (10 mL) y se coloca sobre un recipiente. Se cubre por completo la superficie evitando la formación de burbujas (ver Fig 2.11 b). Colocar el recipiente que contiene a la película de xiloglucano sobre una superficie plana para su secado, evitando que existan fuertes corrientes de aire (el tiempo de secado dura aproximadamente 48 horas). Cuando la película esté completamente deshidratada se desprende del recipiente con cuidado para no causar ninguna deformación (ver Fig 2.11 c). Una vez teniendo película fuera del recipiente, está lista para ser sometida a la prueba de textura. La película deshidratada y fuera del recipiente, se corta con una probeta previamente diseñada.

La textura de las películas se determinó en función de la fuerza de tensión (simula la fuerza a la tensión con las manos). Se determinó el pico máximo de carga y la deformación. Para medir la fuerza a la tensión se emplea un texturómetro (Texture Analyzer Brookfield) con el accesorio TA22 (Figura 2.12 a), en la Figura 2.12 b) se muestra el corte de la película con la probeta. En la Figura 2.12 c) se evidencia la prueba de deformación. En esta prueba la película es tensada con las pinzas y se procede la aplicación de la fuerza, este procedimiento se realizó por triplicado en las diferentes muestras. La Figura 2.12 d) corresponde a una fotografía de las repeticiones de corte con la probeta para una misma película. El texturómetro se calibró a una velocidad de 2 mm/s y una distancia de 7 mm, utilizando una carga de activación 0.05 N.

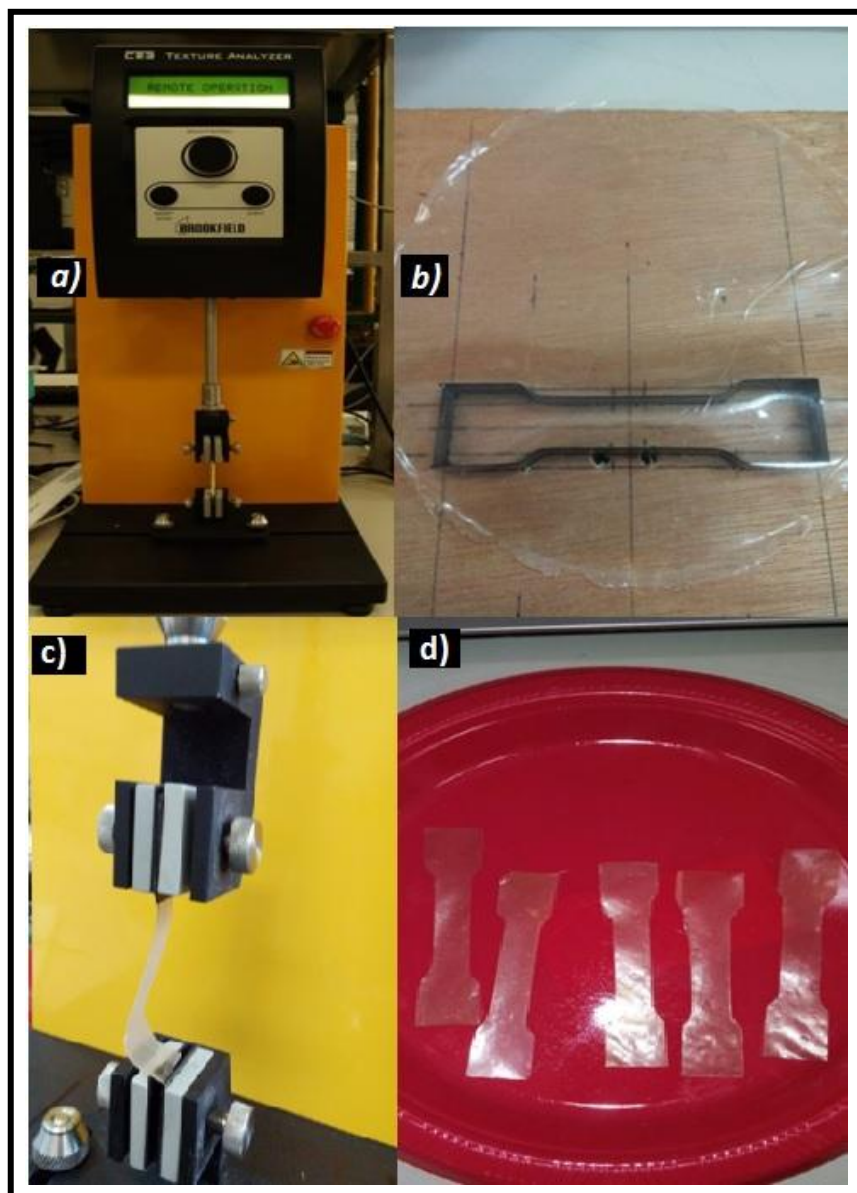


Figura 2.12 a) Texturómetro b) Molde para las probetas c) Preparación del texturómetro para la prueba d) Probetas de diferentes películas a analizar.

2.7 Actividades para el objetivo particular 6

Las soluciones preparadas se aplican por inmersión durante un tiempo de 10 segundos y una temperatura de 25°C a diferentes frutos como lo son manzana, limón, guayaba y fresa con la finalidad de evaluar la adherencia sobre diferentes texturas.



Capítulo 3

Resultados y discusión

3.1 Resultados de actividades preliminares

Resultados de la selección, limpieza de la semilla de tamarindo

Los resultados del balance de materia para cada componente de tamarindo se reportan en la tabla 3.1

Tabla 3.1. Pesos en gramos de los componentes del tamarindo

Repeticiones	1 (g)	2 (g)	3 (g)	Promedio	D.S.
Cáscara	20.04	20.05	20.10	20.40	0.61
Fibra	3.48	3.50	3.40	3.46	0.05
Semilla	24.13	24.10	25.20	24.48	0.63
Pulpa	52.35	52.35	50.30	51.67	1.18
Total	100	100	100	100	0.00

En la tabla 3.1, se reporta el peso promedio de la semilla obtenida en 100 g de tamarindo, su valor fue 24.48 ± 0.63 g que corresponde a un porcentaje muy grande de desperdicio con respecto al 100% del tamarindo.

3.2 Resultados para el objetivo particular 1.

Es de interés asegurar que los sólidos granulares de semilla de tamarindo no son tóxicos dado que se utilizaran para la extracción de polisacáridos que se aplicarán a los alimentos.

Esta prueba se realizó para descartar cualquier posible riesgo a la salud del consumidor debido que las semillas al ser la parte reproductiva de las frutas, contienen sustancias tóxicas como los glucósidos cianogénicos que son un mecanismo natural de supervivencia, estos puede causar la muerte por intoxicación, ya que pueden liberar ácido cianhídrico durante su procesamiento.



En la Figura 3.1 se presentan las evidencias de la prueba colorimétrica para el ácido cianhídrico

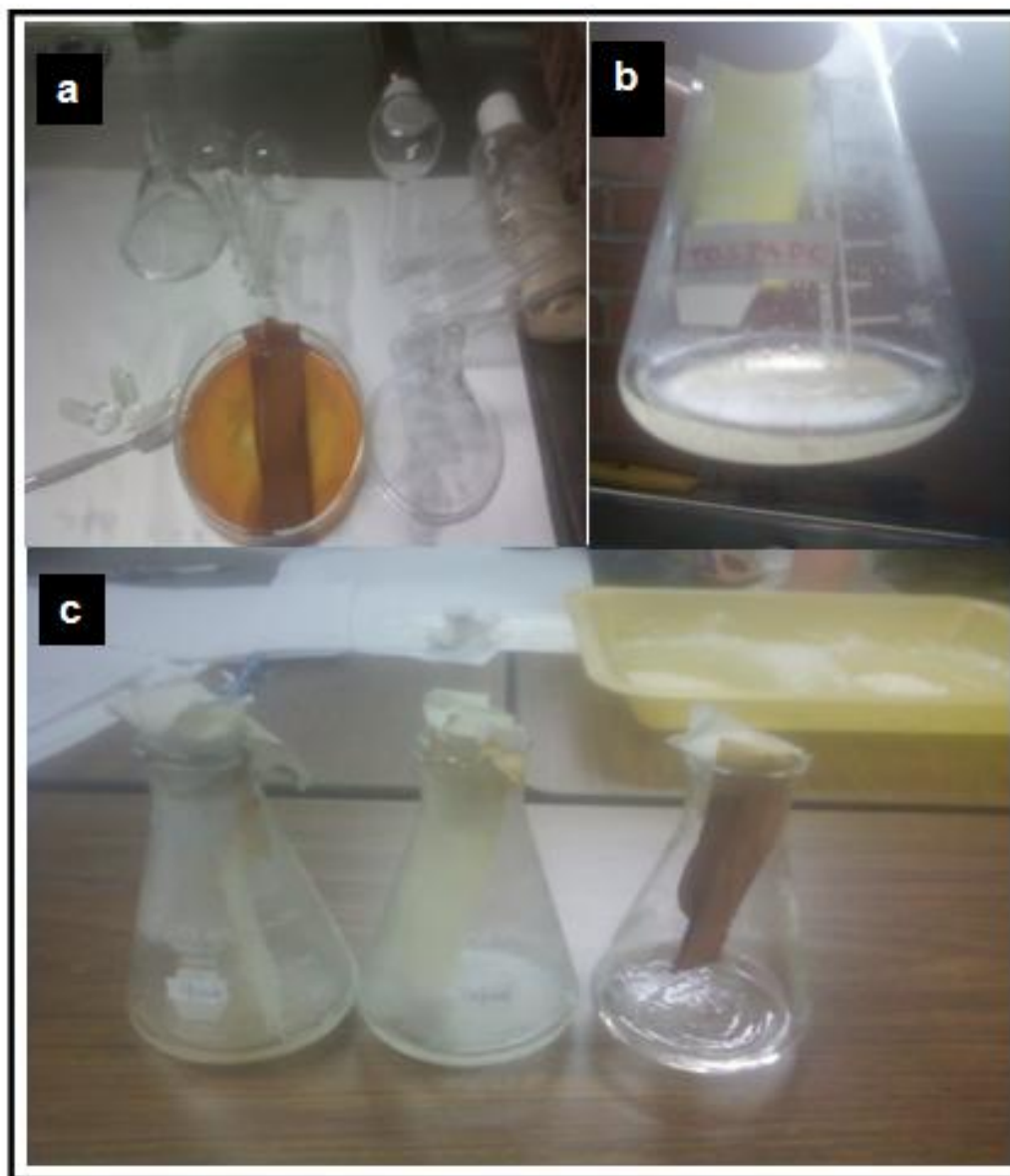


Figura 3.1 a) Preparación de tiras reactivas. b) Muestra control negativa. c) Muestras en espera de cambio de tonalidad (Horneado, Tostado y testigo positivo).



En la Figura 3.1 se puede observar que ninguna de las muestras de horneado y tostado (matraz izquierdo y centro) no se tornaron de color rojo-naranja como la muestra testigo (matraz derecho), de esta manera, se descarta el hecho de que la semilla de tamarindo sea tóxica a causa del ácido cianhídrico como las semillas de otros frutos.

3.3 Resultados para el objetivo particular 2.

Los resultados obtenidos de el consumo de potencia durante la molienda de la semilla de tamarindo son mostrados en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Consumo de la potencia durante la molienda de la semilla de tamarindo.

Abertura de criba (mm)	Potencia (w)	Promedio	DS
1	80.55	80.17	0.50
	80.38		
	80.84		
	79.95		
	79.73		
	79.57		
2	78.33	77.43	1.17
	78.25		
	78.85		
	76.53		
	76.38		
	76.24		

Se puede apreciar en la Tabla 3.2 que el mayor consumo de potencia durante la molienda de las semillas de tamarindo se obtuvo con la criba de 1mm. 80.17 w mientras que con la criba de 2mm los valores fueron 77.43 w. Esta criba es el doble de tamaño que la primera. Sin embargo, los consumos de potencia no se vieron reflejados con la misma magnitud. Los dos tamaños de partícula de los



sólidos granulares fueron utilizados para preparar suspensiones, los rendimientos para cada una de las cribas se muestran en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Rendimiento (masa que pasó el tamiz del número 20 serie USA)

# Malla	Masa que pasó el tamiz 20 USA 1 mm (g)	Masa que pasó el tamiz 20 USA 2 mm (g)
8 . 10	0.14	0.49
10 . 12	0.27	3.64
12 . 14	0.31	6.63
14 . 16	0.76	10.66
16 . 18	4.39	8.42
18 . 20	37.19	39.35
20 . 30	2.97	4.6
30 . 35	12.59	10
35 . 45	17.13	4.03
45 . 60	10.32	5.58
60 . 80	11.06	3.82
80 . Charola	2.73	2.78
Rendimiento	$\Sigma = 56.8 \%$	$\Sigma = 30.81\%$

En la tabla 3.3 se reporta la distribución de tamaño de la molienda de sólidos granulares de semilla de tamarindo con restricción a la salida del molino de 1 y 2 mm, es evidente que lo obtenido en la criba de 1 mm. los sólidos que tienden a finos mientras que en 2 mm tienden a gruesos, así mismo la homogeneidad del material es mayor en la criba de 1 mm. Por otro lado, el rendimiento que corresponde a la cantidad de sólidos que pasó el tamiz 20, es decir, la sumatoria de todos los números de la columna que se encuentran en rojo muestran que para la criba 1 fue de 56.8 % mientras que para la criba 2 de 30.81 %. Aunque el rendimiento fue mayor utilizando la criba de 1 mm en la molienda, ambos granulados fueron utilizados para preparar las suspensiones que se centrifugaron a diferentes condiciones de operación. Es evidente que el tamaño de partícula



obtenido en la molienda con las diferentes cribas también mostró un mayor consumo de energía para la criba 1 mm.

3.4 Resultados para el objetivo particular 3.

- **Rendimiento**

En la tabla 3.4 se reportan los resultados del rendimiento para todas las condiciones experimentales trabajadas en la centrifuga de discos.

Tabla 3.4 Datos del rendimiento en xiloglucano.

Numero de muestra	Tamaño de partícula (mm)	Temperatura (°C)	Velocidad de giro (rpm)	Sólidos granular en suspensión (g)	Rendimiento de xiloglucano de sólidos granulares en 100g (%)
1	1	5	6000	160	5.79
2	1	25	6000	160	3.52
3	2	5	6000	160	9.09
4	2	25	6000	160	7.94
5	1	5	7000	160	15.85
6	1	25	7000	160	11.43
7	2	5	7000	160	11.98
8	2	25	7000	160	9.26

La tabla 3.4 es evidencia de todas las corridas experimentales donde se muestra que el mayor rendimiento corresponde a tamaños de partícula obtenidos con criba de 1 mm, temperatura de la suspensión centrifugada a 5 °C y velocidad de giro de 7000 rpm. Se utilizaron en la corrida experimental 160 g para preparar la suspensión, sin embargo, el rendimiento en xiloglucano se reporta para 100 g de



sólidos granulares de semilla de tamarindo. La suspensión elaborada fue gelada y se dejó precipitar, una vez sedimentado, se centrifuga el sobrenadante. El sobrenadante tiene un mínimo de sólidos por que la mayor parte sedimentaron sobre todo aquellos con mayor masa que corresponden a la criba de 2 mm.

La gráfica de la Figura 3.2 presenta los resultados del rendimiento de todas las corridas experimentales realizadas en la centrifuga de discos.

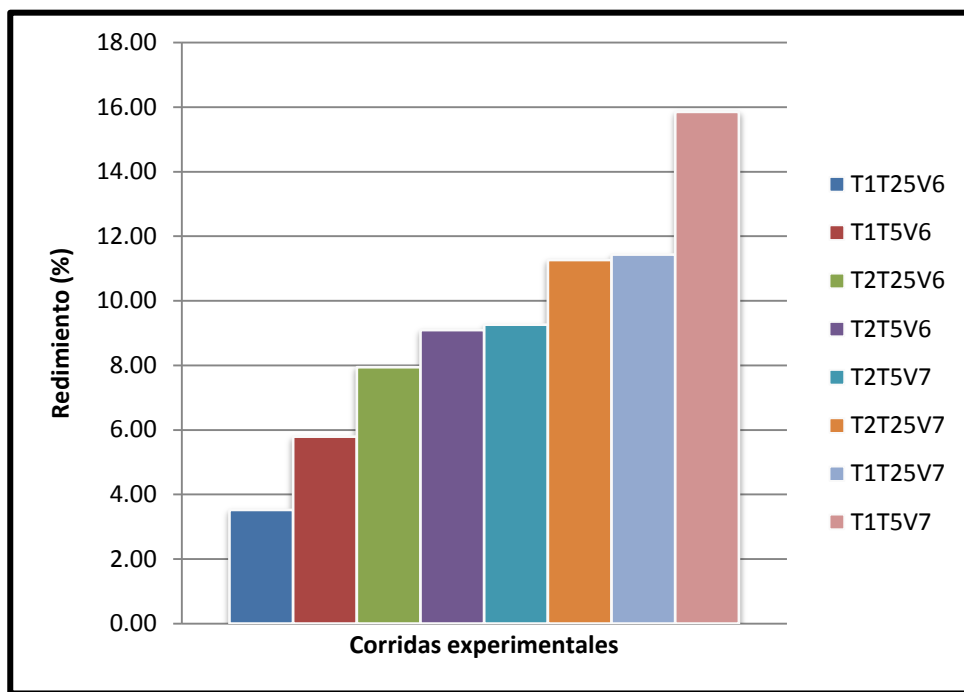


Figura 3.2 Datos del rendimiento en xiloglucano.

El mayor rendimiento de las corridas experimentales se muestra en la Figura 3.2, la cual corresponde a 15.85 % y es la muestra con un tamaño de partícula obtenido por criba de 1 mm, temperatura de 5 °C y velocidad de giro de 7000 rpm. Esto indica que la combinación del tamaño de partícula más pequeño con temperatura más baja y mayor velocidad de giro en la centrifuga permiten obtener mayor cantidad de xiloglucano. La muestra de menor rendimiento fue la combinación del tamaño de partícula de 1 mm con temperatura de 25 °C y



velocidad de giro de 6000 rpm que corresponde a un valor del 3.52 %. La velocidad de giro es una variable muy importante porque permite ejercer una fuerza de separación mayor durante la centrifugación. A su vez la temperatura entre más baja favorece la operación unitaria de la separación de las fases en una centrifuga. Por otro lado, no existen reportes de separación de xiloglucano que es un polisacárido pero si se comporta como un hidrocoloide y los resultados son similares a lo reportado por Paredes. (2011)

- **Eficiencia:**

La tabla 3.5 proyecta los resultados de la eficiencia de separación obtenidos a diferentes condiciones experimentales.

Tabla 3.5 Datos de la eficiencia de separación para suspensiones de sólidos granulares de semilla de tamarindo.

No. De muestra	Tamaño de partícula (mm)	Temperatura (°C)	Velocidad de giro (rpm)	Eficiencia (%)
1	1	5	6000	79.54
2	1	25	6000	79.51
3	2	5	6000	77.77
4	2	25	6000	79.26
5	1	5	7000	86.66
6	1	25	7000	71.73
7	2	5	7000	78.16
8	2	25	7000	77.41

La tabla 3.5 muestra todos los resultados de las diferentes corridas experimentales para obtener la eficiencia de separación. La muestra que obtuvo la mejor pureza o eficiencia de separación fue con un valor de 86.66 % y corresponde a las



condiciones de operación con criba de 1 mm, temperatura de la suspensión centrifugada a 5 °C y velocidad de giro de 7000 rpm esto quiere decir que la muestra con mayor contaminación que se presentó fue de 71.73 % y corresponde a la criba de 1 mm, 25 °C y 7000 rpm.

La turbidez y el volúmen obtenido en la fase ligera fueron los factores utilizados para obtener la eficiencia de separación de las muestras centrifugadas utilizando la ecuación 2.4 del capítulo 2. la Figura 3.3 corresponde a los resultados de eficiencia de separación.

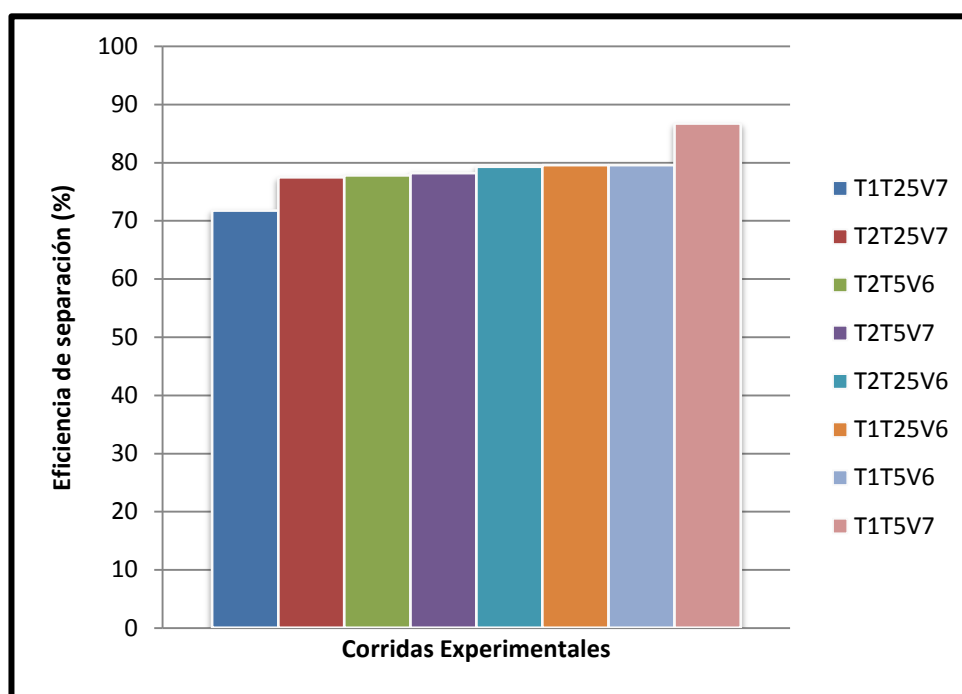


Figura 3.3 Datos de la eficiencia de separación para soluciones de xiloglucano obtenidas a diferentes condiciones de operación.

La muestra T1T25V7 presenta el valor más bajo de eficiencia de separación, realizando el análisis de la eficiencia de separación, evidencian que es la muestra más turbia. Esta turbidez es generada por contaminación de sólidos en la fase



ligera obtenida de la centrifugación. Sus unidades nefelométricas (NTU) indican que a mayor cantidad de sólidos en la muestra menos deja pasar la luz. La muestra T1T5V7 presenta la mayor eficiencia de separación, sin embargo, esta muestra también es la de mayor rendimiento. De igual manera se puede observar que a temperatura ambiente las muestras presentan una menor eficiencia de separación. Las muestras a velocidad de giro de 7000 rpm reflejan valores más altos de eficiencia de separación que las procesadas a 6000 rpm. En relación al tamaño de partícula las muestras con partículas finas de 1 mm tienen valores menores y a mayor temperatura de 25°C, también presentan valores menores de eficiencia de separación con respecto a 2 mm y 5°C.

En la Figura 3.4 se puede apreciar el diagrama de efectos principales sobre la variable de respuesta eficiencia.

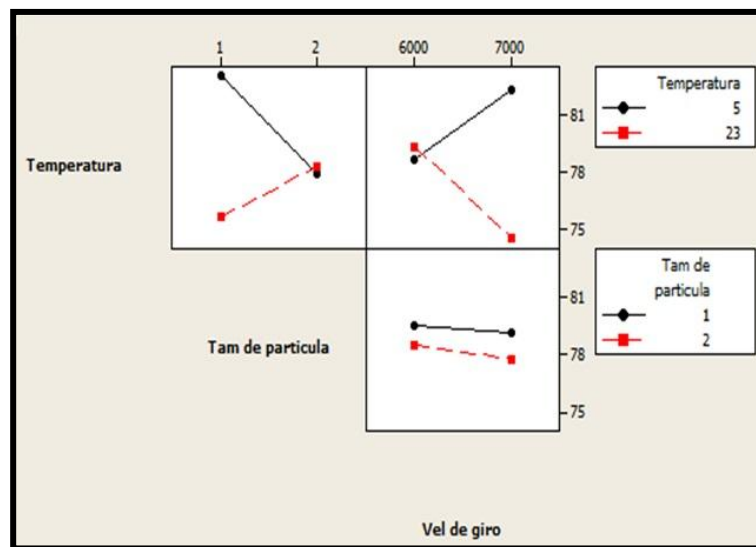


Figura 3.4 Efecto e interacción de las variables con respecto a la eficiencia.

Se puede observar que la eficiencia de centrifugación está completamente influenciada por las distintas temperaturas y las velocidades de giro, obteniendo una mejor eficiencia con la temperatura más baja y las velocidades de giro más altas. Además, la Figura 3.4 muestra las



interacciones entre las variables. Se presenta interacción entre la temperatura y el tamaño de partícula, así mismo la temperatura y la velocidad de giro, sin embargo, no se presenta interacción entre el tamaño de partícula y la velocidad de giro

En la Figura 3.5, se puede apreciar el diagrama de efectos principales sobre la variable de respuesta rendimiento en xiloglucano.

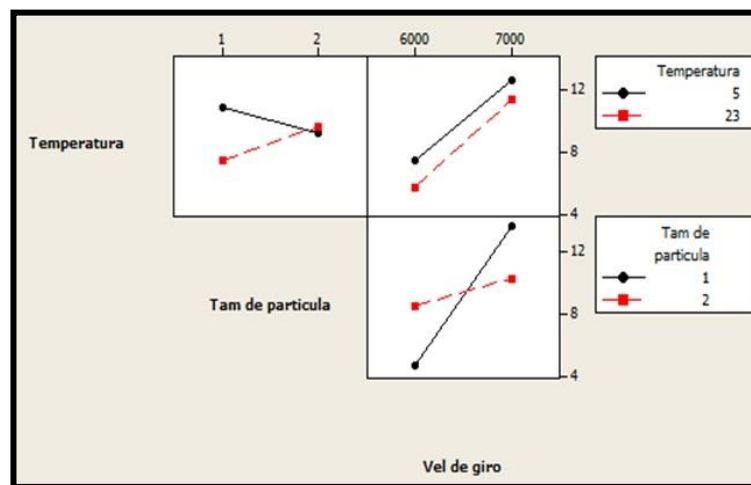


Figura 3.5 Efecto e interacción de las variables con respecto al rendimiento.

El rendimiento en la centrifugación está influenciada por las temperaturas y velocidades de giro, utilizando la temperatura más baja y la velocidad de giro más alta, nos da un mayor rendimiento de xiloglucano en la centrifugación en la centrifugación. Se presenta interacción de variables entre la temperatura y el tamaño de partícula pero no entre la temperatura y la velocidad de giro. También se presenta una interacción muy pronunciada entre el tamaño de partícula y la velocidad de giro. Por lo que las variables que tienen la mayor influencia en la operación unitaria de centrifugación durante la extracción de xiloglucano son la temperatura y la velocidad de giro.



3.5 Resultados para el objetivo particular 4

La Figura 3.4 muestra fotografías de las películas formadas con las 3 distintas concentraciones propuestas 2, 2.5 y 3 %.

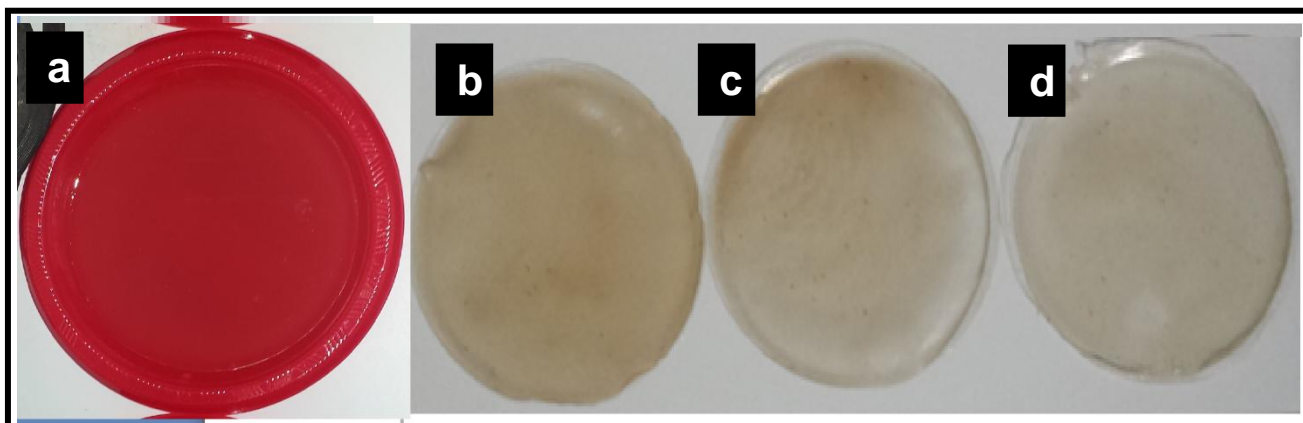


Figura 3.6 Películas de xiloglucano a diferentes concentraciones. a) Recipiente plástico donde se formó la película, b) Película de concentración 3.0 %, c) Película de concentración 2.5 %, d) película de concentración 2.0 %.

La película que se decide utilizar es la de menor concentración de acuerdo a la Figura 3.4, la más transparente y la más flexible. Dado que las películas y recubrimientos en la industria alimentaria se aplican a frutos, carnes, quesos, vegetales, entre otros alimentos. Por esa razón, deben ser lo más transparente posibles para que no se ven afectadas las propiedades del color natural en el producto. A sí mismo, es importante que la película sea flexible ya que puede presentar cuarteaduras al deshidratarse y este le confiere espacios mayores para la permeabilidad de los gases durante la respiración y deterioro del producto. Sin embargo, a pesar de que en la Figura 3.6 b), c) y d) muestran que el xiloglucano es formador de película, al deshidratarse esta película es quebradiza lo que justifica el uso de plastificantes para mejorar su flexibilidad. En la Figura 3.7, se evidencia su textura quebradiza.

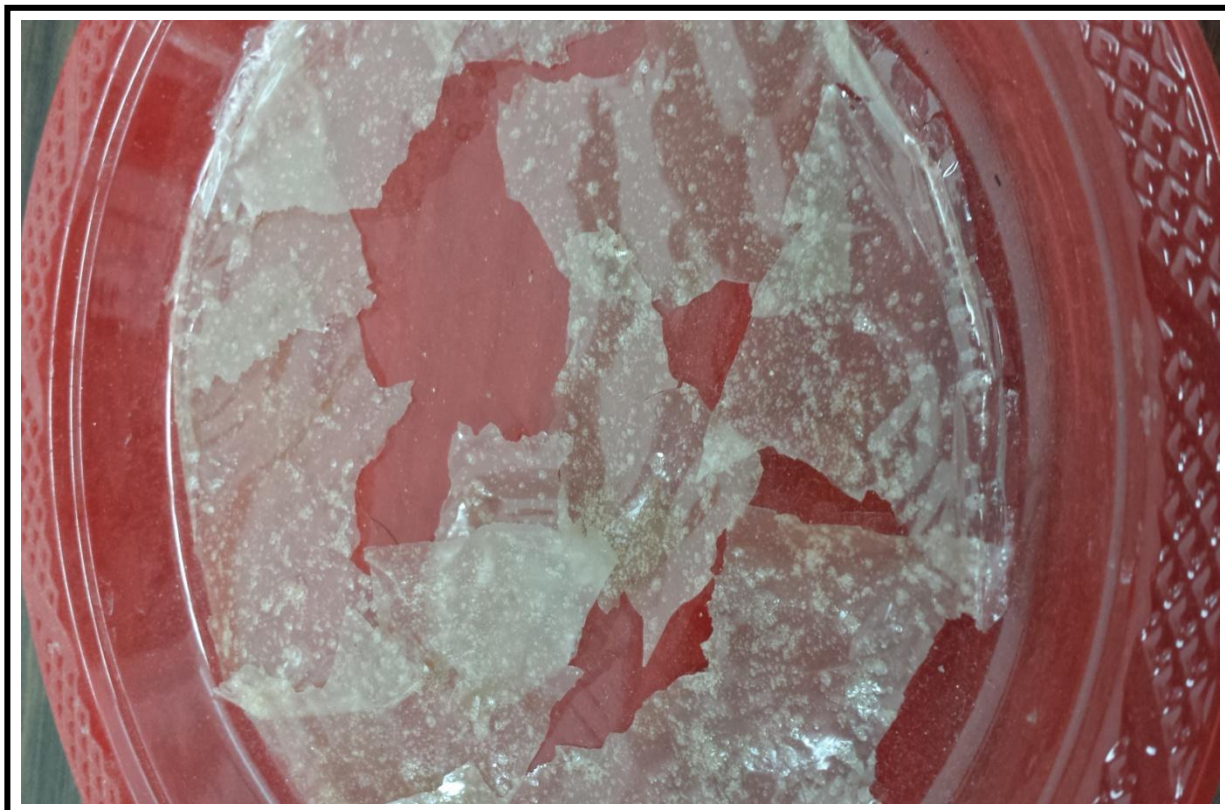


Figura 3.7 Película de xiloglucano deshidratada.

La Figura 3.7 muestra como la película se desintegra debido a su rigidez, este hecho es indeseable, ya que se requieren películas continuas que puedan proporcionar un área superficial homogéneamente recubierta sin dejar desprotegidos espacios del material a recubrir. Una solución a esta problemática es el uso de diferentes plastificantes. Lo interesante es que queda comprobado el potencial que tiene el xiloglucano como formador de películas y recubrimientos. Es indispensable encontrar un plastificante que pueda presentar compatibilidad con el xiloglucano para hacerlo flexible y que mantenga su carácter transparente.

3.6 Resultados para el objetivo particular 5.

Para aplicación del plastificante, sorbitol y glicerol a 2, 2.5 y 3 % se muestran las fotografías en la Figura 3.6 para cada una de las concentraciones.

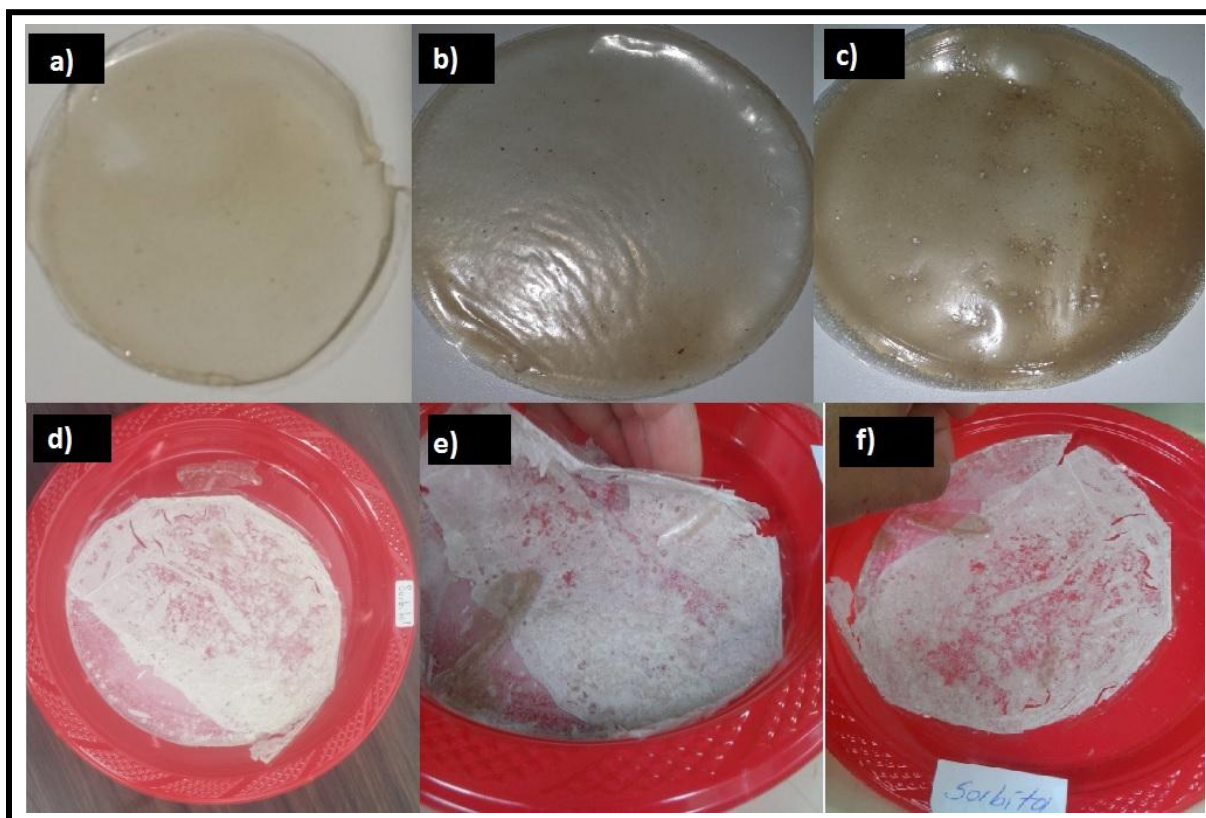


Figura 3.8a) b) y c) Películas de xiloglucano con glicerol 2, 2.5 3% respectivamente. d) e) y f) Películas de xiloglucano con sorbitol 2, 2.5 y 3% respectivamente.

En la Figuras 3.8 (a), (b) y (c) corresponden a las películas de xiloglucano con glicerol 2, 2.5 y 3 % respectivamente; en la Figura 3.8 (d) (e) y (f) Corresponden a las películas de xiloglucano con sorbitol 2, 2.5 y 3% respectivamente. se puede observar que el sorbitol produce películas de tonalidad color blanco en sus tres concentraciones a diferencia de las películas con glicerol, al 2 % (ver Fig3.8a) que es una película más transparente en consideración con las películas de sorbitol que además de su tonalidad, presentan almacenamiento de aire en forma de burbujas lo cual da mal aspecto a la película y por lo tanto también dará mal aspecto al producto a recubrir, la interacción que tiene a estas concentraciones con el xiloglucano no es la más favorable debido que presenta ciertas fracturas mostradas en la Figura 3.8 (f).



Las películas de xiloglucano en mezcla con glicerol, forman películas transparentes, no almacenan aire en forma de burbujas y tienen muy buena flexibilidad como se muestra en la Figura 3.9.



Figura 3.9 Película de xiloglucano con glicerol al 2%.

La flexibilidad de las películas de glicerol es muy similar, la transparencia es el factor clave para la selección de la película ya que la concentración del 2% proporciona la mejor transparencia, de esta manera se decide utilizar la concentración del 2% de glicerol. La Figura 3.10 muestra el pico de carga para el rompimiento de las películas a diferentes concentraciones de plastificante.

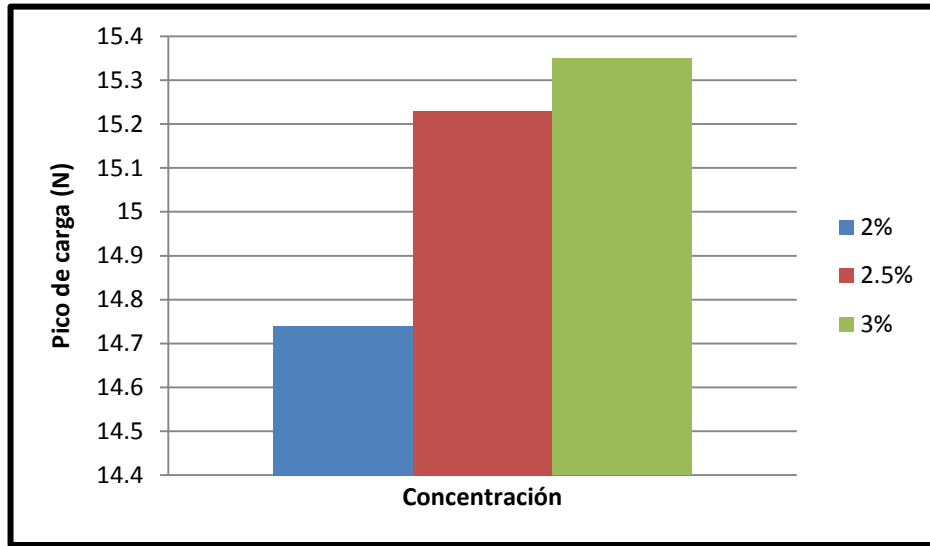


Figura 3.10 Gráfico de pico de carga para las tres concentraciones de glicerol.

Se puede observar que la película que requirió mayor fuerza de ruptura mientras que la concentración de 2 % fue la que necesitó menor fuerza, sin embargo, esta fue la seleccionada por ser la de mejor transparencia y a demás requiere menor cantidad de plastificante para su elaboración.

La Figura 3.10 corresponde a la gráfica de deformación de las películas.

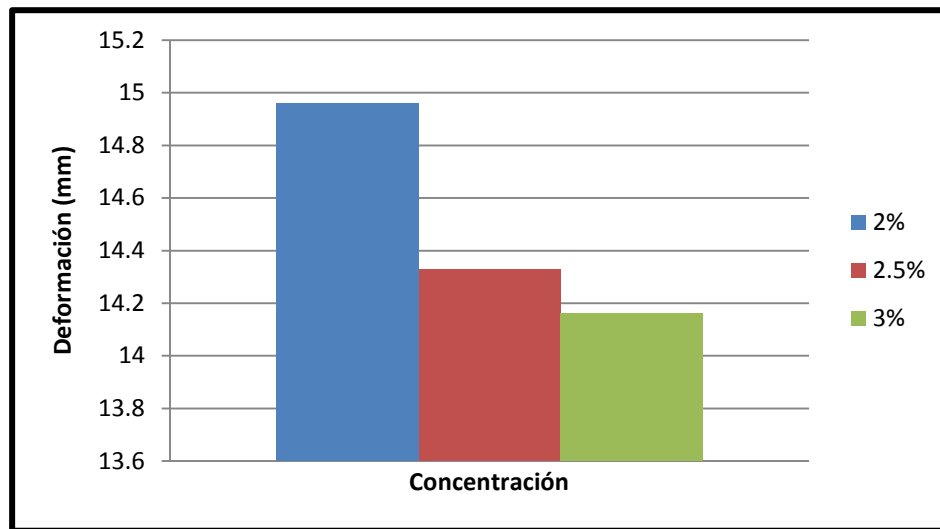


Figura 3.11 Gráfico de deformación para las tres concentraciones de glicerol.



De acuerdo a la gráfica de la Figura 3.11 la película que tiene la mayor deformación con un valor de 14.96 mm fue la de concentración del 2%. Sin embargo las concentraciones de 2.5 y 3 % presentaron valores de 14.33 y 14.16 mm respectivamente. Los valores de deformación tuvieron una mínima variación por lo que este factor no fue tan determinante, pero si se consideró en la selección de la concentración de glicerol a utilizar y quedó establecido que sería la de 2%.

Los factores que permitieron la selección de concentración del plastificante fue principalmente la transparencia, dado que la flexibilidad fue similar en todas las concentraciones y lo mismo ocurrió con la deformación.

3.7 Resultados para el objetivo particular 6.

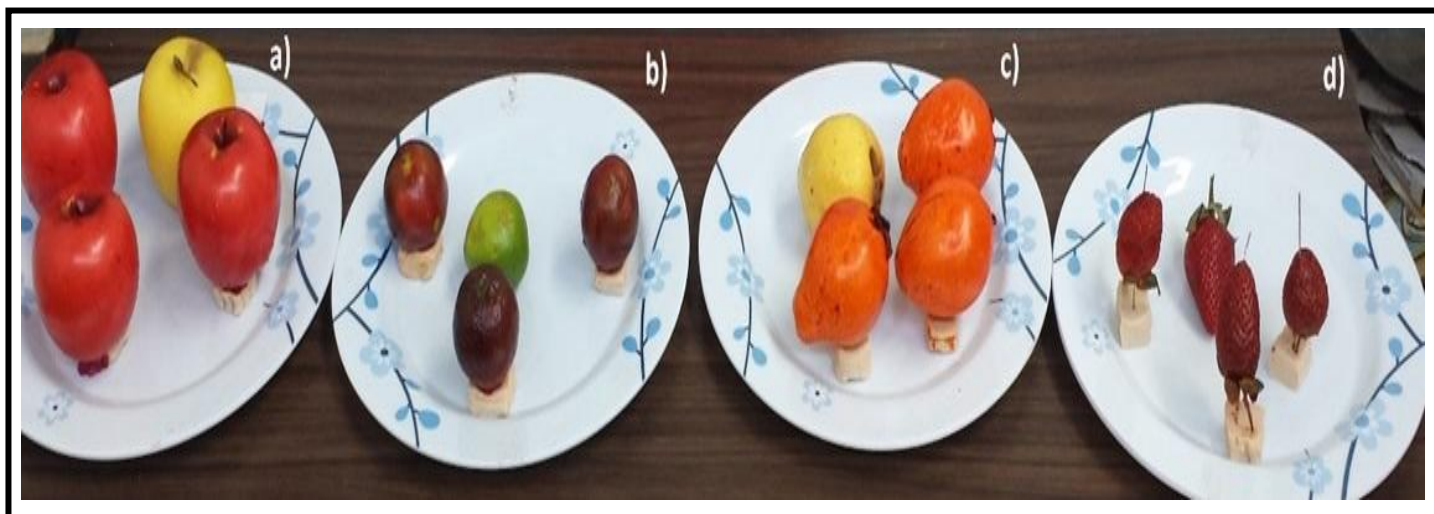


Figura 3.12 Película de xiloglucano aplicada a diferentes frutos a) manzana b) Limón c) Guayaba d) Fresa como recubrimiento comestible.

Se puede observar que en superficies porosas como lo es el limón y la fresa, el recubrimiento es absorbido y tiene mayor fijación aunque podría formarse un recubrimiento de mayor espesor. Sin embargo en las superficies lisas como lo es la manzana el recubrimiento le presentó un brillo y en la Figura 3.12 (a) se aprecia que fue homogéneo en toda la superficie de la manzana. En la Fig 3.12 (b), los limones también quedaron perfectamente recubiertos pero no tiene un brillo



característico, en la Figura 3.12 (c) la guayaba presenta un recubrimiento también con cierto brillo y muy homogéneo, finalmente la Fig 3.12 (d) que son corresponde a las fresas se aprecia que son opacas con exceso de recubrimiento. Pero la adherencia del recubrimiento de xiloglucano se presentó con todas los frutos donde se aplicó.



Conclusiones



Los sólidos granulares de semilla de tamarindo de acuerdo a las pruebas colorimétricas para determinar si es o no toxico resultaron negativas, por lo cual se sugiere el uso del xiloglucano obtenido a partir de la semilla de tamarindo en la industria de los alimentos.



El consumo de potencia y el rendimiento en la molienda fueron los más elevados al utilizar una criba de restricción a la salida en el molino de 1 mm.



La combinación de condiciones de proceso como lo son el tamaño de partícula de los sólidos granulares de semilla de tamarindo que pasaron la criba de 1 mm, la temperatura más baja, y mas alta velocidad de giro trabajadas en la centrifuga fueron los niveles de variación de las variables independientes que proporcionaron la mejor eficiencia de separación y el mejor rendimiento en xiloglucano.



El xiloglucano tiene un alto potencial en la elaboración de películas y recubrimientos y éstas son transparentes.




El xiloglucano es compatible con el plastificante glicerol debido a que proporciona películas transparentes y flexibles, no así con el plastificante sorbitol debido a que las partículas toman una tonalidad blanca, opacas, menos flexibles y presenta formación de burbujas.




Los recubrimientos de xiloglucano aplicados por inmersión tuvieron un excelente adherencia a frutos como fresa, limón, guayaba y manzana, esto indica que es aplicable a superficies porosas, lisas, suaves y duras.



Recomendaciones

 Se recomienda que las películas y recubrimientos de xiloglucano sean aplicados a otros grupos de alimentos como quesos y productos cárnicos.

 Es recomendable cargar a los recubrimientos y películas con aceites esenciales, antimicrobianos, vitaminas, antioxidantes, compuestos fenólicos entre otros.



Referencias Bibliográficas

- Abo-Shosha M. H., Ibrahim N. A., Allam E., El-Zairy M. R., El-Zairy E. M. (2006). Synthesis and Characterization of Polyacrylic Acid/Dexy 85 and Polyacrylic Acid/Gum Arabic Adducts. *Journal of Applied Polym Science (101)* 4290-4300.
- Abraján-Villaseñor, M. A. (2008). “Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible”. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. España
- Aguilar, M. Á. (2005). “Propiedades físicas y mecánicas de películas biodegradables y su empleo en el recubrimiento de frutos de aguacate.” Tesis de posgrado. Centro de investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada. Instituto Politécnico Nacional, México.
- Askar, A., Samahy, S.K. y Salem N.A. (1992). Production of Instant Guava Drink Powder. *Confructa-Studien*, 36 (5-6), 154-161.
- Aytunga A. K., Ferhunde Us. (2013). Thermal mechanical and water adsorption properties of corn starch-carboxymethylcellulose / methyl cellulose biodegradable films. *Journal of Food Engineering*, (114) 123-131.
- Avachat A., Guyar K. N., Wang K. V. (2013). Development and evaluation of tamarind seed xyloglucan-based mucoadhesive buccal films of rizatriptan benzoate. *Carbohydrate polymers*, (91) 537-542.
- Baldwin, E. A.; Nisperos-Carriedo, M.O.; Hagenmaier, R.D.; Baker, R.A. (1995). Use of lipids in coatings for food products. *Food Technology*, 51, 56-64.
- Baldwin, E. A. y Hagenmaier, R. D. (2012). “Introduction”. En: Baldwin E. A. (ed) *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*. 2nd edition. Boca Raton, FL: CRC Press. 1-12, USA.
- Bhattacharya S., Bal S., Mukherjee R. K. (1993). Some physical and engineering properties of tamarind (*Tamarindus Indica*) kernel. *Journal of Food science and Technology*, 31(5), 372–376.



- Butler, B., Vergano, P., Testin, R., Bunn, J., Wills, J. (1996). Mechanical and Barrier Properties of Edible Chitosan Film as Affected by Composition and Storage. *Journal Food Science*, 61 (5), 953-961.
- Campos, C., Gerschenso, L., Flores, S. (2011). "Development of edible films and coatings with antimicrobial activity". *Food and Bioprocess Technology*. 4(6), 849-875.
- Cárdenas, A., Higuera-Ciapara, I. y Goycoolea, F. (1997). Rheology and aggregation of cactus (*Opuntia ficusindica*)mucilage in solution. *Journal Profess. Assoc. Cactus Develop.* (2), 152-159.
- Chen, C. y Lai, L. (2008). Mechanical and water vapor barrier properties of tapioca starch/decolorized hsian-tsao leaf gum films in the presence of plasticizer.*Food Hydrocolloids*, 22(8), 1584-1595.
- Chien-Hsien, C., Lih-Shiuh, L. (2008). Mechanical and water vapor barrier properties of tapioca starch/decolorized hsian-tsao leaf gum films in the presence of plasticizer. *Food Hydrocolloids*, (22), 1584-1595.
- Cho, S. Y. y Rhee, C. (2004). "Mechanical properties and water vapor permeability of edible films made from fractionated soy proteins with ultrafiltration". *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*. (37), 833-839.
- Cisneros-Zevallos, L., Krotcha, J.M. (2003). "Whey protein coating for fresh fruits and relative humidity effects". *Food Engineering* 78, 225-229.
- Cuq, B., Gontard, M., Cuq J., Guilbert, S. (1996). Functional Properties of Myofibrillar Protein-based Biopackaging as Affected by Film Thickness. *Journal Food Science*, 61 (3), 580-584
- Del-Valle, V., Hernández-Muñoz, P., Guarda A., Galotto M.J. (2005) "Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*fragaria ananassa*) shelf-life". *Food chemistry*, (91), 751-756.
- Falguera, V., Quintero, J. P., Jiménez, A., Muñoz, J. A., Ibarz, A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Food Science and Technology*, (22), 292-303.



- Fennema, O. R. (2000). Química de los alimentos. Ed. Acribia. Zaragoza España. 34-52.
- Flores, S.; Famá, L.; Rojas, A. M.; Goyanes, S.; Gerschenson, L. (2007). Physical properties of tapioca-starch edible films: Influence of filmmaking and potassium sorbate. *Food Research International*, 40, 2257-265.
- Fraire-Cordero, M., Yanez, M., Nieto, D. y Vazquez, G. (2003). Hongos patógenos en fruto de fresa (*Fragaria x ananassaduch.*) enpostchosecha. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(3), 285-291.
- García, M.; Martino, M.; Zaritzky, N. (2000). "Lipid addition to improve barrier properties of edible starchbased films and coatings". *Journal of Food Science*, (65), 941-947.
- García-Rivas E. (1991) Preservative treatments for fresh-cut fruits and vegetables: science, technology and market. En:Lamikanra,O. (Ed.). Fresh-cut fruits and vegetables science, technology and market. CRC Press, Florida, USA, 275-285.
- Gennadios, A. y Weller, C. L. (1991). Edible films and coatings from soymilk and soya protein. *Cereal Foods World*, 36, 1004-10012.
- González-Aguilar, G.A., Valenzuela-Soto, E., Lizardi-Mendoza,J.L., Goycoolea, F., Martinez-Tellez, M., Villegas-Ochoa, M.A., Monroy-Gracia, I.N. y Ayala-Zavala, J.F. (2009). Effect of chitosan coating in preserving deterioration and preserving the quality of fresh-cut papaya` Maradol´. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. (89), 15-23
- Jagtiani, J., Chan, H.T., Sakai, W.S. (1988). Tropical Fruit Processing, Academic Press, San Diego, USA.
- Kester, J. J.y Fennema, O. (1986). Edible Films and Coating: A Review. *Food Technology*, (40), 47-59.
- Koelsch, C. (1994). Edible water vapour barriers properties and promise. *Trends in Food Science and Technology*, (51), 76-81.



- Martin-Belloso, O., Soliva-Fortuny, R., Baldwin, A. (2005). Conservación mediante recubrimientos comestibles. En: Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Hermosillo, Sonora, México, 558.
- González-Aguilar, G; Gardea, A.; Cuamea-Navarro, F. Conservación mediante recubrimientos comestibles. En: Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. Centro de Investigaciones en Alimentación y Desarrollo A.C. Hermosillo, Sonora, México. 558-570.
- Lawless, H. T. y Heymann, H. (1998). *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices*, Chapman & Hall and International Thompson Publishing, New York. USA.
- Matsuhira, B., Lillo, L. E., Sáenz, C., Urzúa, C. C., Zárate, O. (2006). Chemical characterization of the mucilage from fruits of *Opuntia ficus indica*. *Carbohydrate Polymers*, (63), 263–267.
- Mei, Y. y Zhao, Y. (2003). Barrier and mechanical properties of milk protein-based ediblefilms containing nutraceuticals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(7), 1914–1918.
- Min, Z., Giognian, X., Jian, P. y Vilas, M.S. (2005.). Effect of single and combined atmosphere packages on preservation of strawberries. *International Journal of Food Engineering*, 1(4), 1-11.
- Mishra A. y Malhotra A. V. (2009). Tamarind xyloglucan: A polysaccharide with versatile application potential. *Journal of Materials Chemistry*, 19(45), 8528–8536.
- Navarro-Tarazaga, M. L.; Massa, A.; Pérez-Gago, M. B. (2011). Effect of beeswax content on hydroxypropyl methylcellulose-based edible film properties and postharvest quality of coated plums (Cv. Angeleno). *LWT - Food Science & Technology*, (4), 2328-2334.
- Nishinari, K. y Zhang, H. (2005). Antimicrobial activity and the properties of edible hydroxypropil methycellulose based films incorporated with encapsulated clove (*Eugenia carophyllata* Thunb) oil. *Colloid Interface Science*, (5), 195.
- Olivas, G. I. y Barbosa-Canovas, G.V. (2005). Endible coatings of fresh-cut fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (45), 657-670.



- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., Martín-Belloso, O. (2008). "Edible coatings with antibrowning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of fresh cut pears". *Postharvest Biology and Technology*, (50), 87-94.
- Paredes Martínez Erika (2011). Establecimiento de las condiciones de centrifugación para la obtención de mucilago de nopal deshidratado. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Park, S., Zhao, Y., Leonard, S. W., Traber, M. G. (1994). Vitamin E and mineral fortification in fresh-cut apples (Fuji) using vacuum impregnation. *Nutrition and Food Science*, 35 (6), 393-402.
- Pérez-Gago, M. B., González-Aguilar, G. A., Olivas, G. I. (2010). Edible coatings for fruits and vegetables. *Stewart Postharvest Review*, 6(3), 1–14.
- Quintero-Cerón, J, Falguera-Pascual, V, Muñoz-Hernández, J. (2010). "Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola". *Revista Tumbaga*. 5: 93-118. Disponible en: <http://revistas.ut.edu.co/index.php/TUMBAGAV/article/viewFile/459/366>.
- Restrepo, A., Cortes, M., Rojando, B. (2010). Potenciación de la capacidad antioxidante en fresa (*Fragaria ananassa Duch.*) por incorporación de vitamina E utilizando la técnica de impregnación al vacío. *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*. 17(2), 135-140.
- Rhim, J.W. y Shellhammer, T.H. (2005). "Lipid-based edible films and coatings". En: Jung H. Han. *Innovations in Food Packaging*. Elsevier Ltd. London, UK. 362-383.
- Rojas-Graü, M.A., Tapia, M. S., Martín-Belloso, O. (2008). Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut fuji apples. *LWT Food Science and Technology*, 41(1), 139–147.
- Rojas-Graü, M. A., Sobrino-López, A., Tapia, M. S., Martín-Belloso, O. (2006). Browning inhibition in fresh-cut 'fuji' apple slices by natural antibrowning agents. *Journal of Food Science*, 71 (1), S59-S65.
- Rojas-Graü, M. A., Tapia, M. S., Martín-Belloso, O. (2008). Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut fuji apples. *LWT - Food Science and Technology*, 41 (1), 139-147.



- Ruiz, R. J. O. (2004). Caracterización reológica de emulsiones aceite-en-agua (o/w) estabilizadas con goma de mezquite y quitosano y su efecto en la permeabilidad de películas comestibles. Tesis de doctorado. Departamento de ingeniería de procesos e hidráulica. Universidad Autónoma Metropolitana campus Iztapalapa. México.
- SAGARPA, (2008). Desarrollo de cultivo de nopal www.sagarpa.gob.mx/cgcs-
- SAGARPA, (2011). Producción de nopal, www.sagarpa.gob.mx/cgcs
- Stone, H. y Sidel, J. L. (1993). Sensory Evaluation Practices, Academic Press, San Diego.
- Skurtys, O, Acevedo, C, Pedreschi, F, Enrione, J, Osorio, F, Aguilera, J. M. (2012). Edible films and coatings. *Food Hydrocolloid* (65), 163-172
- Tapia, M. S., Rojas-Graü, M. A., Rodríguez, F. J., Ramírez, J., Carmona, A., Martin-Belloso, O. (2007). Alginate-and gellan-based edible films for probiotic coatings on fresh-cut fruits. *Journal of Food Science*, 72 (4),E190–E196.
- Tapia, M. S., Rojas-Graü, M. A., Carmona, A., Rodríguez, F. J., Soliva-Fortuny, R., Martin-Belloso, O. (2008). Use of alginate- and gellan-based coatings for improving barrier, texture and nutritional properties of fresh-cut papaya. *Food Hydrocolloids*, 22 (8), 1493-1503.
- Tharanathan, R. N. (2003). “Biodegradable films and composite coatings: past, present and future: a review”. *Trend in Food Science and Technology*. (14), 71-78.
- Villalobos-Carvajal, R., Hernández-Muñoz, P., Albors, A, Chiralt, A. 2009. Barrier and optical properties of edible hydroxypropyl methylcellulose coatings containing surfactants applied to fresh cut carrot slices. *Food Hydrocolloids*, (23), 526–535.
- Yan, A., Von Dem Bussche, A., Kane, A. B., Hurt, R. H. (2010). Tocopheryl polyethylene glycol succinate as a safe, antioxidant surfactant for processing carbon nanotubes and fullerenes. *Carbon*. 45 (13), 2463-2470.
- Zambrano-Zaragoza, M. L., Mercado-Silva, E., Del Real, L. A., Gutiérrez-Cortez, E., Cornejo-Villegas, M. A., Quintanar-Guerrero, D. (2014).The effect of nano-coatings with α -tocopherol and xanthan gum on shelf-life and browning index of fresh-cut “Red Delicious” apples. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, (22), 188-192.