



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA**



**“ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES EMULSIONANTES DEL
MUCÍLAGO DE LA SEMILLA DE TAMARINDO”**

TESIS

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUÍMICO

Presenta:

DANIEL ENRIQUE PEÑA MERCADO

Director:

DR. CÉSAR PÉREZ ALONSO

Asesor Externo:

M. en C.Q. ERIK ALPIZAR REYES

Toluca, México, Abril 2017

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	10
1. ANTECEDENTES.....	12
1.1. Mezcla.....	12
1.2. Emulsión.....	12
1.2.1. Medida de la capacidad emulsionante (CE).....	13
1.3. Coloides.....	14
1.4. Hidrocoloides.....	15
1.4.1. Clasificación de los hidrocoloides.....	16
a) Hidrocoloides exudados de plantas.....	17
b) Hidrocoloides de plantas.....	17
c) Hidrocoloides provenientes de algas.....	17
d) Hidrocoloides de origen microbiano.....	18
e) Hidrocoloides de origen animal.....	18
f) Hidrocoloides provenientes de semillas.....	18
1.5. Tamarindo.....	21
1.5.1. Descripción general.....	22
1.5.2. Producción.....	23
1.5.3. Usos.....	25
a) Pulpa.....	25
b) Concentrado.....	25
c) Semilla.....	26
d) Semilla en polvo.....	26
1.5.4. Mucílago de tamarindo.....	27
1.6. Proceso de secado.....	28
1.6.1. Condiciones externas.....	29
1.6.2. Condiciones internas.....	30
1.6.3. Mecanismos de secado.....	31
1.6.4. Tipos de secado.....	31
1.6.5. Secado por aspersion.....	33
a) Atomización.....	34
b) Liquido en contacto con corriente caliente.....	34
c) Evaporación de agua.....	35
d) Separación Producto seco – Aire húmedo.....	35
1.7. Microscopia electrónica de barrido.....	36
1.8. Calorimetría diferencial de barrido.....	37
1.8.1. Aplicaciones.....	37
a) Análisis morfológico de materiales.....	37

b) Estabilidad de una muestra.....	38
2. JUSTIFICACIÓN.....	40
3. HIPÓTESIS.....	42
4. OBJETIVOS.....	44
5. MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	46
5.1. Materiales.....	46
5.2. Metodología.....	46
5.2.1. Extracción del mucílago de la semilla de tamarindo.....	46
5.2.2. Secado por aspersión del mucílago de tamarindo.....	47
5.2.3. Rendimiento.....	47
5.2.4. Índice de hinchamiento.....	47
5.2.5. Ángulo de reposo.....	48
5.2.6. Capacidad de absorción en agua y aceite.....	48
5.2.7. Capacidad emulsionante y estabilidad.....	49
5.2.8. Morfología del mucílago.....	50
5.2.9. Caracterización térmica.....	50
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
6.1. Rendimiento de la extracción.....	52
6.2. Índice de hinchamiento.....	52
6.3. Capacidad de absorción en agua y aceite.....	53
6.4. Capacidad emulsionante y estabilidad.....	54
6.5. Morfología del mucílago.....	56
6.6. Caracterización térmica.....	58
7. Conclusiones.....	62
8. Bibliografía.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 6.5.1 Mucílago de la semilla de tamarindo a 1000x.....	56
Figura 6.5.2 Mucílago de la semilla de tamarindo a 1500x.....	57
Figura 6.5.3 Mucílago de la semilla de tamarindo a 5000x.....	57
Figura 6.6.1 Curva termogravimétrica del mucílago de la semilla de tamarindo.....	58
Figura 6.6.2 Calorimetría diferencial de barrido del mucílago de la semilla de tamarindo..	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.3.1 Clasificación de coloides según su estado de agregación.....	14
Tabla 1.4.1.1 Clasificación de hidrocoloides según su origen.....	16
Tabla 1.5.2.1 Principales productores de tamarindo en el mundo.....	23
Tabla 1.5.2.2 Superficie cultivada y producción de tamarindo en México.....	24
Tabla 1.6.4.1 Equipos de secado.....	32
Tabla 6.2.1 Índice de hinchamiento.....	52
Tabla 6.3.1 Propiedades funcionales del mucílago de la semilla de tamarindo.....	53
Tabla 6.4.1 Propiedades emulsificantes del mucílago de la semilla de tamarindo.....	54

RESUMEN

Este trabajo se planteó como objetivo principal el estudio de las propiedades funcionales y características fisicoquímicas del mucílago de la semilla de tamarindo. Se aisló el mucílago de las semillas de tamarindo mediante métodos físicos, se sometió a secado por aspersion y finalmente se evaluaron las propiedades funcionales y características fisicoquímicas de este mucílago. En cuanto al proceso de aislamiento y obtención del mucílago en polvo se determinó el rendimiento. Las propiedades funcionales mostraron que la capacidad de retención de agua y la capacidad de retención de aceite incrementaron de acuerdo a la temperatura. El índice de hinchamiento se determinó a diferentes temperaturas (25, 45 y 65 °C) y pH (4, 7 y 10), aumentando cuando los valores de estas variables se incrementaron. La capacidad emulsionante aumentó y la estabilidad emulsionante disminuyó cuando se aumentó el peso del polvo de la proporción de mucílago de semillas de tamarindo / volumen de aceite. El análisis morfológico arrojó que las superficies externas del mucílago presentaron paredes continuas sin fisuras, grietas o interrupciones, partículas semiesféricas con una estructura de partículas parecida a la piel o aspecto polimérico. La termogravimetría mostró que el mucílago era termoestable hasta 175 ° C cuando comenzó una pérdida de masa apreciable, y la medición de calorimetría diferencial de barrido mostró dos picos, con un primer pico de 97.67 °C presentando un evento endotérmico temprano y un segundo pico a 310.86°C que estaba relacionado con un evento exotérmico. Con lo que se concluyó, que este mucílago novedoso podría tener aplicaciones en los campos de la industria enfocados al consumo humano como un hidrocoloide funcional, barato y amigable con el medio ambiente.

INTRODUCCIÓN

En la última década se ha notado un incremento en la demanda de hidrocoloides como agentes emulsionantes, gelificantes, espesantes, estabilizadores y modificadores de textura empleados en la industria alimentaria y farmacéutica. Razón por la cual, se están desarrollando metodologías para la obtención de nuevos hidrocoloides provenientes de fuentes vegetales o animales, tales como los mucílagos. Los mucílagos poseen ventajas económicas y funcionales, ya que son de fácil acceso, bajo costo y excelente funcionalidad. Los mucílagos son fuentes ricas en polisacáridos que constituyen una clase diversa de macromoléculas biológicas localizadas en altas concentraciones en distintas partes de las plantas, ya que forman parte de la célula y su pared celular.

Recientemente, se ha encontrado que la semilla del tamarindo llega a contener hasta un 72% de mucílago, siendo rico en polisacáridos (~65-72%) contenido glucosa, xilosa y galactosa en un orden de 3:2:1. Además, este mucílago es un polisacárido de alto peso molecular (720-880 kDa), que forma soluciones viscosas cuando se disuelve en agua, lo cual lo convierte en una opción viable para su estudio y posible aplicación como hidrocoloide en la formulación de distintos sistemas coloidales, entre los que destacan la formulación de emulsiones, geles, espumas o microcápsulas.

ANTECEDENTES

1. ANTECEDENTES

1.1 Mezcla

Una mezcla es un material formado por dos o más componentes unidos, pero no combinados químicamente. En una mezcla no ocurre una reacción química y cada uno de sus componentes mantiene su identidad y propiedades químicas. Se sabe que existen dos tipos de mezclas las cuales se distinguen, una por reconocer a simple vista sus componentes (mezcla heterogénea) y la otra por solo poder observar una fase (mezcla homogénea). Al ser una combinación física de dos o más sustancias, estas pueden formar aleaciones, suspensiones, emulsiones o coloides por citar algunos ejemplos (Serdaroğlu, *et al.*, 2016).

1.2 Emulsión

Una emulsión es un sistema heterogéneo, inestable desde un punto de vista termodinámico, formado al menos por dos líquidos inmiscibles. El proceso de formación de la emulsión se consigue generalmente aplicando una energía mecánica que deprime la interfase y de lugar a la aparición de las gotas de la fase dispersa (Serdaroğlu, *et al.*, 2016; Walstra, 1983).

Para mantener la estabilidad física de una emulsión es importante utilizar un emulsionante adecuado que se sitúe en la interfase, formando una barrera protectora que dificulte la coalescencia. La estabilidad de la emulsión final está condicionada por sus características estructurales y reológicas. (Gallegos *et al.*, 1996; McClements, 1999).

La inestabilidad de las emulsiones es debido al aumento del área interfacial entre los componentes, lo que produce un aumento de la energía libre del sistema. Las proteínas por su naturaleza anfifílica, tienen acción tensoactiva. Esto quiere decir que pueden estabilizar emulsiones por su tendencia a desnaturalizarse y a agregarse en interfaces entre las gotas de aceite dispersas en la fase continua y aportan propiedades físicas y reológicas como: espesamiento, viscosidad, elasticidad y rigidez.

Estas propiedades determinan la resistencia de las gotas a la coalescencia. De lo anterior se puede concluir que las proteínas son buenos agentes emulsificantes y estabilizantes de emulsiones (Serdaroğlu, *et al.*, 2016).

Para evaluar las propiedades emulsionantes de las proteínas se utilizan métodos estandarizados, debido a la diversidad de factores que afectan tanto a la formación como a la estabilidad de emulsiones. Sin embargo, estas propiedades se pueden clasificar en dos grupos importantes que son (Lamba *et al.*, 2015):

- a) Poder emulsionante (Proceso de formación de la emulsión).
- b) Poder estabilizante (Proceso de desestabilización de la emulsión).

El poder emulsionante es la capacidad que tiene una proteína de lograr la separación de aceite en pequeñas gotas. Puede determinarse a través de la medida de dos parámetros diferentes: Capacidad emulsionante y actividad emulsionante (Cervantes-Martínez *et al.*, 2014).

1.2.1 Medida de la capacidad emulsionante (CE)

Es la cantidad de aceite que puede emulsionar una solución de proteína a una determinada concentración al momento en que se produce la inversión de la emulsión.

La inversión de fases ocurre cuando una emulsión agua/aceite se transforma en una emulsión aceite/agua, o a la inversa. Esto sucede generalmente en emulsiones en las que la relación entre la fase dispersa y la fase continua es elevada o cuando la emulsión es sometida a un trabajo mecánico intenso. Los métodos consisten en adicionar aceite a una dispersión de una proteína con agitación continua hasta que se produce la inversión de fases. La determinación del punto de inversión se puede detectar por cambios en el color o por medidas eléctricas (Coorey *et al.*, 2014).

1.3 Coloides

Los coloides son sistemas de, al menos, dos fases, una de ellas finamente dividida en pequeñas partículas (fase dispersa, fase discontinua) a las que rodea completamente la otra sustancia (fase dispersante, medio de dispersión, fase continua) (Rodríguez, 2006).

Se considera un sistema coloidal cuando las dimensiones de la fase dispersa se encuentran en el margen de un nanómetro a mil nanómetros. A pesar de dicha definición, existen casos particulares en las que estas dimensiones no se cumplen, como en algunos lodos o emulsiones (McClements, 1999; Serdaroglu, *et al.*, 2016).

En la siguiente tabla se puede apreciar algunos ejemplos de coloides dependiendo de su fase dispersa y su fase continua:

Tabla 1.3.1 Clasificación de coloides según su estado de agregación.

		FASE DISPERSA		
		Gas	Líquido	Sólido
FASE CONTINUA	Gas	N/A	Aerosol líquido (Niebla)	Aerosol sólido (Humo)
	Líquido	Espuma (Nata)	Emulsión (Leche)	Sol (Pintura)
	Sólido	Espuma solida (Piedra pómez)	Gel (Gelatina)	Sol sólido (Cristal de rubí)

Fuente: Chang (2007)

Las dispersiones coloidales encuentran usos en numerosas áreas científicas e industriales. En ambos ámbitos se aprovecha la estabilidad de los sistemas coloidales con el fin de mejorar e incluso encontrar nuevas aplicaciones de determinados materiales, por lo que el estudio de la estabilidad o inestabilidad de los coloides cobra una importancia fundamental.

Algunas de las áreas industriales en las que regularmente pueden encontrarse sustancias en estado coloidal son en la industria farmacéutica (emulsiones), metalúrgica (aleaciones), medio ambiente (aerosoles) y productos de consumo doméstico (cosméticos), entre otros (Rodríguez, 2006).

Un grupo importante de coloides, por sus aplicaciones y abundancia, son los llamados hidrocoloides.

1.4 Hidrocoloides

Los hidrocoloides son un grupo particular de los sistemas coloidales, los cuales se caracterizan por tener una gran afinidad por el agua donde se dispersan. Se consideran biopolímeros de alto peso molecular. Entre ellos podemos encontrar polisacáridos y proteínas (Capitani *et al.*, 2013).

En la actualidad, los hidrocoloides poseen un gran número de aplicaciones en diversos sectores industriales como ingredientes con funciones espesantes y gelificantes de soluciones acuosas, estabilizantes de espumas, emulsiones y dispersiones, agentes inhibidores del crecimiento de cristales, liberación controlada de sabores, encapsulantes, formadores de películas y modificadores de textura. A pesar de que estos compuestos no influyen directamente en el sabor de los alimentos, son muy efectivos en la formación de geles, la retención de agua y de aromas (Capitani *et al.*, 2013; Viebke *et al.*, 2014).

En resumen, las aplicaciones de los hidrocoloides se fundamentan en dos de sus características más importantes: la capacidad de alterar las propiedades de flujo del agua y la posibilidad de formar geles (García *et al.*, 2004).

1.4.1 Clasificación de los hidrocoloides

En la siguiente tabla se presentan los hidrocoloides con mayor importancia comercial clasificados de acuerdo a su origen:

Tabla 1.4.1.1 Clasificación de hidrocoloides según su origen.

BOTÁNICO	Árboles	Celulosa.
	Gomas exudadas de plantas	Goma arábica, karaya y tragacanto.
	Plantas	Almidón, pectinas y celulosa.
	Semillas	Goma guar, garrofín, tara y tamarindo.
	Tubérculos	Goma Konjac.
ALGAS	Algas rojas	Agar y carragenanos.
	Algas marrones	Alginato.
MICROBIANO		Goma xántica, dextrano, gellan y celulosa.
ANIMAL		Gelatina, caseinato, quitosano y proteína de suero.

Fuente: Capitani *et al.* (2013)

a) Hidrocoloides exudados de plantas.

Corresponden al grupo de gomas más antiguo; prácticamente todas las familias de plantas presentan alguna especie que exuda gomas, sin embargo, debido a la cantidad de exudado, solo algunas logran ser recolectadas. Alrededor del diez al quince por ciento de las gomas de uso comercial corresponden a este grupo.

En general, son arbustos pequeños los que producen dichas gomas. Estos exudados se recolectan de manera manual y se clasifican en diferentes grados de pureza.

Es importante señalar que estos exudados representan una opción viable, en cuestión económica, debido a que no requieren de tratamientos de alta especialización, lo cual les confiere una ventaja competitiva en el mercado (Glicksman, 1982; Nussinovitch y Hirashima, 2014).

b) Hidrocoloides de plantas.

Entre muchos otros ejemplos, el almidón y la celulosa son dos compuestos de gran importancia ya que son buenas materias primas para el desarrollo de distintas gomas. Con la ayuda de tratamientos térmicos, procesos de oxidación o derivatizaciones es posible el desarrollo de hidrocoloides adecuados para la aplicación que se requiera. La desventaja en estos materiales es que, a pesar de ser materias primas con costos relativamente bajos, sus procesos de modificación pueden llegar a ser demasiado complejos, elevando su precio y afectando su capacidad comercial (Capitani *et al.*, 2013).

c) Hidrocoloides provenientes de algas.

Este tipo de hidrocoloides comprenden tres grupos principales: alginatos, agar y carragenanos. Representan una opción económica ya que su extracción es relativamente simple además de lograr la remoción de una gran cantidad del peso seco de las algas y la obtención de un producto prácticamente puro (Prajapati *et al.*, 2013).

d) Hidrocoloides de origen microbiano.

El microbio, o microorganismo, es un sistema biológico, vivo, que solo puede visualizarse con un microscopio. Dichos sistemas, son capaces de producir polisacáridos estructurales a partir de su crecimiento en fuentes de energía de bajo costo tales como granos o melaza. Esta técnica de desarrollo de gomas industriales da pie a una extensa variedad de hidrocoloides con propiedades muy diversas y se encuentra en constante desarrollo a fin de satisfacer los requerimientos a nivel industrial (Fang *et al.*, 2014).

e) Hidrocoloides de origen animal.

Corresponden al grupo más abundante y diverso dentro de la naturaleza y la industria. Por ejemplo, a partir de mamíferos o peces es posible obtener macropolímeros, los cuales, al someterse a procesos fisicoquímicos, se pueden convertir en proteínas y carbohidratos de gran utilidad en la industria alimentaria. Una proteína importante obtenida por este medio es el colágeno, útil para obtener la gelatina y la quitina, extraída del esqueleto de los crustáceos, la cual mediante una deacetilación puede transformarse en quitosano (Capitani *et al.*, 2013).

f) Hidrocoloides provenientes de semillas.

Muchas semillas contienen polisacáridos de reserva diferentes del almidón y algunas se cosechan con el fin de obtener diversas gomas que están disponibles en el mercado. Las gomas más conocidas, desde la antigüedad, son las del membrillo, *psyllium*, lino y garrofín, teniendo algunas de ellas relevancia en la actualidad. La mayoría provienen de plantas anuales. Estas pueden ser cosechadas de manera similar al resto de los cultivos (Capitani *et al.*, 2013).

Otra clasificación aplicable de los hidrocoloides se fundamenta en sus componentes principales, entre las que se tiene (Glicksman, 1982; Nussinovitch y Hirashima, 2014):

Proteínas: Los hidrocoloides constituyen una clase estructuralmente heterogénea de polisacáridos total o parcialmente solubles, donde algunas proteínas son la excepción ya que se incluyen como fuentes de hidrocoloides. Un ejemplo, es la gelatina que presenta capacidad hidrofílica y polidispersidad excelente (Dickinson, 2009).

Otras proteínas, tales como la proteína de suero de leche, tradicionalmente no se clasifican como hidrocoloides a pesar de que presentan agregación y comportamiento de gelificación muy similares a los de los polisacáridos por lo que algunos autores también clasifican a las proteínas de suero como hidrocoloides (Li y Nie, 2015).

Gomas: Las gomas pueden ser definidas en términos prácticos como moléculas de alto peso molecular con características o hidrofílicas o hidrofóbicas que, usualmente, tienen propiedades coloidales, con capacidad de producir geles al combinarse con el solvente apropiado. De este modo, el término goma se aplica a una gran variedad de sustancias con características gomosas. Sin embargo, es más común la utilización del término goma para referirse a polisacáridos o sus derivados, obtenidos de plantas o por procesamiento microbiológico, que, al dispersarse en el agua fría o caliente, producen soluciones o mezclas viscosas (Saha y Bhattacharya, 2010; Whistler, 1973; Whistler y Daniel, 1985).

Una goma puede ser definida en sentido amplio, como cualquier polisacárido soluble en agua, que puede ser extraído a partir de vegetales terrestres o marinos, o de microorganismos, que poseen la capacidad, en solución, de incrementar la viscosidad y/ o de formar geles. Gomas vegetales de uso generalizado son las galactomanas de las semillas de guar y locuste (*Ceratonia siliqua*), los exudados como la goma arábiga y el tragacanto, y las de las algas como las carragenanas y los alginatos (Whistler y Daniel, 1985). Todos ellos son muy utilizados en el procesamiento de muchos alimentos.

En los últimos años se ha incrementado la extracción, obtención, uso y evaluación de otro tipo de hidrocoloides, estos son conocidos como mucílagos, los cuales han sido obtenidos principalmente de distintas fuentes vegetales.

Mucílagos: Poseen ventajas económicas y funcionales, ya que son de fácil acceso, bajo costo y buena funcionalidad (Salehi y Kashaninejad, 2014). Los mucílagos son polisacáridos que constituyen una clase diversa de macromoléculas biológicas localizadas en altas concentraciones en distintas partes de las plantas, ya que forman parte de la célula y su pared celular. Debido a la alta concentración de grupos hidroxilo en los polisacáridos que los constituyen, los mucílagos generalmente tienen una alta capacidad de retención de agua ofreciendo un mecanismo para las plantas frente a los periodos de sequía (Fang *et al.*, 2014).

El creciente interés sobre esta novedosa fuente de hidrocoloides se debe a que el material se obtiene a base de plantas las cuales son recursos vegetales renovables que se cultivan o cosechan de una manera sostenible, con la capacidad de proporcionar un suministro constante de materias primas. Sin embargo, las sustancias de origen vegetal también plantean varios retos potenciales, por ejemplo, en los casos que requieran procesos de síntesis en pequeñas cantidades o en los que son mezclas estructuralmente complejas que requieran un procesamiento en espacios distintos a los de la localización de las plantas, y si estas son de temporada. Esto puede resultar en proceso de aislamiento y purificación lento y costoso. Entre los mucílagos más populares se encuentran el nopal, la pitahaya, el cactus, aloe vera, pimienta, okra, linaza, chía (Archana *et al.*, 2013, Prajapati *et al.*, 2013, Salehi y Kashaninejad, 2014).

Estudios recientes señalan que la semilla del tamarindo llega a contener hasta un 72% de mucílago (Khounvilay y Sittikijyothin, 2012, Manchanda *et al.*, 2014), lo cual lo convierte en una opción muy viable para su estudio y posible aplicación como un hidrocoloide en la industria alimentaria.

1.5 Tamarindo

Tamarindus indica L., comúnmente conocido como árbol de tamarindo es una de las más importantes especies de árboles en India y demás países productores de este. Esto es debido a su gran diversidad de aplicaciones. Es un árbol de gran tamaño, con follaje siempre verde y cuenta con una frondosa corona (Peter, 2012).

El árbol de tamarindo es cultivado prácticamente en toda la región de India, excepto en el Himalaya y en regiones secas del oeste (Rao *et al.*, 1999). En el mundo, existen regiones tropicales y subtropicales en las cuales este árbol ha sido plantado extensamente, incluyendo regiones del Caribe, América Central y el norte de América del Sur (Aceves *et al.*, 2008). Se sabe que el tamarindo es originario de Madagascar (Hocking, 1993; Von Maydell, 1986).

Actualmente se puede encontrar en regiones semiáridas de África y el Sur de Asia, en países como Bangladesh, Myanmar, Malasia, Sri Lanka, Tailandia, entre otros. El fruto se comenzó a conocer en Europa durante la Edad Media (Manchanda *et al.*, 2014; Mishra, 1997).

El árbol fue introducido a la India por comerciantes árabes, adaptándose de manera perfecta a las condiciones naturales del lugar. Los árabes fueron los primeros en conocer las diversas aplicaciones del fruto. A su vez, el tamarindo ya era conocido por los egipcios y griegos en el siglo IV antes de cristo; en Europa fue introducido por Marco Polo. Posteriormente fue llevado al nuevo mundo por los españoles y portugueses en el siglo XVIII, probablemente con los primeros embarques de esclavos procedentes del oeste de África. En las islas hawaianas, los primeros arboles fueron plantados alrededor del año de 1797 (Orozco, 2001).

La pulpa del fruto de tamarindo ha sido un ingrediente culinario muy importante en India por mucho tiempo. Prácticamente todas las partes del árbol tienen alguna aplicación, ya sea en la industria alimenticia, química, farmacéutica o textil; también se utiliza como forraje, madera y combustible (Dagar *et al.*, 1995; George y Rao, 1997).

1.5.1 Descripción general

El Tamarindo es un árbol que posee dimensiones de moderadas a grandes, ya que puede medir hasta 24 metros de altura. El tronco es corto, grueso y recto, la corteza tiene fisuras a lo largo del tronco incluyendo algunas ramas y presenta diferentes tonalidades que van desde color gris cenizo hasta pardo oscuro. La copa del árbol es redonda y grande, con un diámetro, que puede alcanzar, hasta los 15 metros; su follaje es denso y frondoso, con ramas fuertes, extendidas, flexibles y de apariencia plumosa, lo que lo hace atractivo como árbol de sombra (Singh, *et al.*, 2011).

El tamarindo es un árbol que conserva su follaje siempre verde (perennifolio); sin embargo, en climas muy secos se comporta como subcaducifolio, ya que puede perder el follaje por un periodo corto de tiempo durante los meses calurosos. Es un árbol longevo, ya que puede vivir más de 200 años (Orozco, 2001).

Las hojas son de colores verde pálido a oscuro, alternas y parapinnadas; miden de 7.5 a 15 centímetros de largo y poseen de 10 a 20 pares de folíolos. Las flores son hermafroditas, amarillo pálido con venas rojas o naranjas y miden de 2 a 2.5 cm de diámetro, formadas en pequeños racimos de 5 a 10 centímetros de largo y con 8 a 14 flores por racimo (Peter *et al.*, 2012).

El fruto es una vaina indehisciente (permanece cerrada cuando madura), protuberante y oblonga, café canela o café grisáceo, ligeramente curvada y aplanada. Mide de 7 a 20 centímetros de largo y de 1 a 3 centímetros de ancho. Los frutos se forman en abundancia a lo largo de las ramas o en las partes terminales de éstas. Al madurar los frutos, su cáscara es quebradiza y puede romperse fácilmente.

La pulpa es la parte comestible del fruto, de color café, consistencia firme, viscosa, granular, de sabor agrídulce agradable y con alto contenido de azúcar y ácido. 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 existen de 2,000 a 2,500 semillas (Kumar y Muzaffar, 2015).

Otros autores describen la morfología del árbol a detalle en diversas publicaciones (Drake y Parkash, 1985; Dubey *et al.*, 1997; George y Radhakrishna, 1993; Singh, 1982).

1.5.2 Producción.

México es un país que se encuentra entre los principales productores de tamarindo en el mundo y el segundo en América:

Tabla 1.5.2.1 Principales productores de tamarindo en el mundo.

PAÍS	TONELADAS
1.- India	300,000
2.- Costa Rica	220,000
3.- Tailandia	150,000
4.- México	39,000

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SIAP. 2014.

Dentro de la república mexicana existen diversos estados productores del tamarindo localizados en la llanura costera del Océano Pacífico y en menor cantidad en las costas del Golfo de México.

Tabla 1.5.2.2 Superficie cultivada y producción de tamarindo en México.

ESTADO	SUPERFICIE SEMBRADA (HA)	SUPERFICIE COSECHADA (HA)	PRODUCCION (TON)	PRECIO POR TON (\$/TON)	VALOR DE LA PRODUCCION (MILES DE PESOS)
COLIMA	1968.30	1961.30	13472.00	7125.66	96998.55
BCS	10.00	10.00	48.00	12000.00	576.00
SINALOA	15.00	15.00	28.00	4000.00	112.00
NAYARIT	97.50	87.00	334.58	5666.96	1896.05
JALISCO	3168.30	2261.00	10967.30	6057.22	66431.36
MICHOACAN	836.00	836.00	3591.07	6228.16	22365.77
EDOMEX	8.00	8.00	22.20	5535.14	122.88
GUERRERO	1531.50	1511.50	7845.50	3413.33	26779.29
MORELOS	40.50	36.50	144.70	3195.30	462.36
OAXACA	367.00	367.00	996.07	2513.39	2503.51
CHIAPAS	50.00	50.00	174.32	2019.28	352.00
YUCATAN	7.00	7.00	25.10	2097.21	52.64
CAMPECHE	24.00	23.50	141.35	3459.48	489.00
TABASCO	11.00	11.00	24.00	14494.79	347.88
VERACRUZ	241.50	241.50	1612.59	3020.79	4871.29
TAMAULIPAS	8.00	8.00	40.00	10000.00	400.00
TOTAL	8383.60	8376.60	39466.78	5676.67	224760.58

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SIAP. 2014.

1.5.3 Usos

a) Pulpa

La pulpa del tamarindo es prácticamente exclusiva de uso culinario. En India lo utilizan para agriar curries, salsas, chutneys y algunas bebidas. En otros lugares del mundo lo utilizan para la preparación de vinos (Bagul *et al.*, 2015; Benk, 1987; Giridharlal *et al.*, 1958; Khounvilay y Sittikijyothin, 2012; Latino y Vega, 1986; Manchanda *et al.*, 2014; Sánchez, 1985).

De acuerdo con las investigaciones del instituto central de investigación tecnológica de alimentos (CFTRI por sus siglas en inglés) en Mysore, India, la pulpa puede ser preservada en buen estado de seis a ocho meses, sin ningún tratamiento especial, siempre y cuando sea empacada en contenedores herméticos y colocada en lugares fríos y secos (Shankaracharya, 1997).

Se puede encontrar en promedio en la pulpa de tamarindo madura un 65.95% de humedad, 2.35% de proteína, 0.48% de grasa, 26.2% de azúcares, 0.45% de sacarosa, 2.7% de celulosa y 1.87% de otros compuestos. Se han encontrado también cerca de 60 compuestos volátiles en la pulpa de tamarindo. También existe una variedad del tamarindo con un sabor más dulce de tonalidad rojiza. Este sabor dulce puede ser causada debido a una menor presencia en la cantidad de ácidos poliprotónicos (Shankaracharya, 1997, 1998).

b) Concentrado

El concentrado del jugo de tamarindo es producido y comercializado tanto en India como en el mundo. Este producto tiene un valor culinario de gran importancia por la enorme cantidad de recetas en las que puede ser utilizado (Raghuveer, 1997). La CFTRI ha desarrollado procesos de manufactura para obtener el concentrado del jugo, así como polvo de la pulpa de tamarindo (Shankaracharya, 1998). La composición porcentual aproximada del concentrado de tamarindo según la CFTRI es la siguiente: 13% de ácido tartárico, 50% de azúcares invertidas, 2% de pectina, 3% de proteína, 2% de material celuloso y 30% de humedad. Se ha encontrado que el concentrado de jugo de tamarindo es más viscoso que soluciones de sacarosa (Manohar *et al.*, 1991; Sharma *et al.*, 2014).

c) Semilla

Evaluando las propiedades y composición de la semilla de tamarindo se encontró que es un recurso potencial para la preparación de alimentos (Marangoni *et al.*, 1988). La semilla de tamarindo representa en promedio el 35% de toda la fruta.

Esta misma, a su vez, está integrada por dos partes principales, la testa, representando un 30% de la semilla, y el endosperma o kernel, representando el 70% restante. Analizando la composición de la semilla se pudo encontrar proteínas en un 18%, grasas en un 7% carbohidratos en un 69% fibra en un 3% y un 3% de otros compuestos (Bagul *et al.*, 2015; Bose *et al.*, 1954; Patil y Nadagouder, 1997; Siddhuraju *et al.*, 1995; York *et al.*, 1993). La proteína contenida en el endospermo es abundante en lisina, ácido glutámico, ácido aspártico, glicina, leucina y potasio, pero deficiente en aminoácidos que contienen grupos sulfurados (Bagul *et al.*, 2015; Bhattacharya *et al.*, 1993, 1994). De igual manera, debido a la pectina que contiene la semilla, puede ser procesada para el uso en industrias que requieren de este compuesto como materia prima o utilizada para dar consistencia a diversos productos como la mermelada o la gelatina. Existen métodos de separación y purificación los cuales han sido descritos y son viables para su uso comercial (Kumar, 1997).

d) Semilla en polvo

Al triturar la semilla de tamarindo se logra obtener el polvo de kernel (TKP por sus siglas en inglés) el cual es de gran utilidad en la industria textil, como material de apresto, y en la alimenticia (Bal y Mukherjee, 1994; Patil y Nadagouder, 1997; Rao y Subramanian, 1984). Los analistas situados anteriormente atribuyen sus propiedades a la presencia de un polisacárido conocido como jellose o polyose. Además de esta aplicación, también es utilizado en la confitería de Estados Unidos y algunos países de Europa y como estabilizador de helados y mayonesas. Su uso se hace extenso hasta la industria cosmética, farmacéutica y agroquímica con preparaciones de algunos insecticidas. También puede ser utilizado como adhesivo en la encuadernación, fabricación de cartón, madera en triplay y piel para prendas textiles. El subproducto oleoso del TKP puede ser utilizado para pinturas y barnices (Bagul *et al.*, 2015).

1.5.4 Mucílago de tamarindo

El mucílago es una sustancia vegetal viscosa, coagulable al alcohol. También es una solución acuosa espesa de una goma o dextrina utilizada para suspender sustancias insolubles y para aumentar la viscosidad.

Los mucílagos son análogos, por su composición y sus propiedades, a las gomas, dan con el agua disoluciones viscosas o se hinchan en ellas para formar una pseudodisolución gelatinosa logrando ser capaces de absorber, en algunos casos, más de cien veces su peso en agua. A diferencia de las gomas, no salen de forma espontánea de los vegetales, sino que hay que recurrir en muchas ocasiones a la molturación y a la utilización de disolventes para su extracción. Su estructura química general corresponde a polisacáridos heterogéneos (Alpizar-Reyes *et al.*, 2016). Se encuentran en las algas, semillas de lino (linaza), semillas de chía, en raíces de malva, membrillo, liquen, nopal, en ciertos hongos y en muchos vegetales. Proceden de las degradaciones de la celulosa, calosa, lignina y de las materias pécticas (Classen y Blaschek 1998; Li *et al.*, 2016).

Los mucílagos de plantas superiores se clasifican clásicamente en dos grandes grupos: mucílagos neutros y mucílagos ácidos (Classen y Blaschek 1998; Viebke *et al.*, 2014).

Los mucílagos neutros reciben esta denominación debido a que su estructura química corresponde a polímeros heterogéneos de manosa que incorporan en su estructura un porcentaje variable de otras “osas”. Los más frecuentes son: a) glucomananos, polímeros de D-manosa con un 20 a 50 % de unidades de D-glucosa, presentes en órganos subterráneos de algunas monocotiledóneas; b) galactomananos, polímeros de D-manosa que se localizan en las semillas (endosperma) de distintas plantas pertenecientes a diversas familias botánicas (*Fabaceae*, *Cesalpiniaceae*, *Palmeae*, *Annonaceae*, *Convolvulaceae*); y c) galactoglucomananos: cadenas de glucosa y manosa que forman parte de hemicelulosas acumuladas como material de reserva en algunas semillas (*Cercis siliquastrum* L. *Cesalpiniaceae*) (Classen y Blaschek 1998).

Debido a que se obtiene de residuos agroindustriales de una fuente natural, el aislamiento del mucílago, su caracterización y su aplicación en la formación de microcápsulas permite

ampliar las opciones de fuentes de productos para sustitución de agentes emulsionantes comúnmente utilizados, los cuales por su alto precio y escasez pueden llegar a representar altos costos de producción (Velázquez-Gutiérrez *et al.*, 2015).

El manejo del mucílago de tamarindo en solución trae consigo diversos problemas en consecuencia de la cantidad de agua que este posee, como una disminución de la vida útil debido a reacciones de degradación y un volumen elevado que incrementa costos de almacenamiento y transporte. Un método eficiente y económico para lograr un mejor manejo e incrementar la vida útil del mucílago es el secado por aspersión, ofreciendo un producto en forma de polvo que asegura que cada grano forme una partícula individual ofreciendo ventajas como una efectiva hidratación libre de grumos o aglomerados y un producto útil para la preparación de ingredientes secos (Alpizar-Reyes *et al.*, 2016).

1.6 Proceso de secado

El secado se describe como la operación unitaria en la cual se eliminan sustancias volátiles (humedad) para producir un producto sólido y seco. La humedad se presenta como una solución líquida dentro del sólido, es decir, en la microestructura del mismo (Cabrera, 2004). Cuando un sólido húmedo es sometido a secado térmico, dos procesos ocurrirán simultáneamente:

1. Transferencia de calor de los alrededores para evaporar la humedad de la superficie.
2. Transferencia de masa de la humedad interna hacia la superficie del sólido.

La velocidad a la cual el secado es realizado está determinada por la velocidad a la cual los dos procesos, mencionados anteriormente, se llevan a cabo.

La transferencia de calor de los alrededores hacia el sólido húmedo puede ocurrir como resultado de convección, conducción y/o radiación, presentándose en algunos casos la combinación de estos efectos (Cabrera, 2004).

La conservación de productos de tipo biológicos se debe a que la actividad acuosa se reduce a un nivel donde no existe actividad microbiológica y tanto el deterioro químico

como las reacciones bioquímicas se reducen al mínimo. La reducción de la actividad acuosa se logra a través de la aplicación de calor al producto (Ángeles, 2009).

Dentro del secado pueden existir cambios de tipo físico como: encogimiento, inflado, cristalización; o bien pueden ocurrir reacciones químicas o bioquímicas deseables o indeseables con cambios de color, textura, olor y en otras propiedades del producto sólido. Por lo tanto, la microestructura y morfología de los alimentos, así como la calidad final del producto, están relacionadas con el método de secado y las condiciones aplicadas (Alpizar-Reyes *et al.*, 2017).

Las ventajas que representa el secar un producto respecto al manejo del material original son (Ángeles, 2009):

- ✓ Aumento en el tiempo de vida útil del producto
- ✓ Se facilita el manejo del producto
- ✓ Reducción de espacio de almacenamiento
- ✓ Reducción de costos de almacenamiento y embarque

1.6.1 Condiciones externas.

Para la eliminación de agua en forma de vapor de la superficie del material, se deben de tomar en cuenta ciertas condiciones externas tales como:

- ✓ Temperatura
- ✓ Humedad
- ✓ Flujo de aire
- ✓ Área de la superficie expuesta
- ✓ Presión

Dichas condiciones son importantes durante las etapas iniciales de secado cuando la humedad de la superficie está siendo removida. En algunos materiales puede haber encogimiento, dando lugar a altos gradientes de humedad del interior a la superficie.

Este fenómeno es causado por el sobresecado causando altas tensiones dentro del material y dando pie a agrietamiento y deformación del material (Cabrera, 2004).

1.6.2 Condiciones internas.

El movimiento de la humedad dentro del sólido es una función de la naturaleza física del material, la temperatura y su contenido de humedad. Cualquiera de estos procesos puede ser el factor que determine la velocidad de secado (Velázquez-Gutiérrez *et al.*, 2015).

A partir de la transferencia de calor hacia un sólido húmedo, un gradiente de temperatura se desarrolla dentro del material mientras la evaporación de la humedad ocurre en la superficie. Esto produce una migración de humedad desde adentro del sólido hacia la superficie (Garcel y García, 1998). Los mecanismos normalmente involucrados en el proceso son:

- ✓ Difusión
- ✓ Flujo capilar
- ✓ Presión interna

1.6.3 Mecanismos de secado.

Existen dos métodos para remover la humedad:

1. Evaporación: Esta ocurre cuando la presión de vapor de la humedad en la superficie del sólido es igual a la presión atmosférica. Esta condición se logra con el aumento de la temperatura de la humedad hasta el punto de ebullición. Si el material que está siendo secado es sensible al calor, existe la posibilidad de bajar la presión para disminuir la temperatura de evaporación (evaporación al vacío) (Welty, Wicks y Wilson, 1998).
2. Vaporización: El secado es llevado a cabo por convección, pasando aire caliente sobre el producto. El aire es enfriado por el producto y la humedad es transferida

hacia el aire. En este caso la presión de vapor de la humedad sobre el sólido es menor que la presión atmosférica (Wilke, 2001).

1.6.4 Tipos de secado

Para la realización de esta operación unitaria existen diferentes equipos de secado industriales los cuales se enlistan a continuación:

Tabla 1.6.4.1 Equipos de secado.

SECADOR	BREVE DESCRIPCIÓN
De bandejas	Gabinete en el cual se hace correr cantidad suficiente de aire caliente y seco.
Al vacío con anaqueles	Secador por lotes. Formado de gabinetes de hierro con puertas herméticas el cual trabaja al vacío. Se introduce aire calentado generalmente con vapor.
Continuo de túnel	Se introducen bandejas o carretillas a un túnel con material a secar. Se hace fluir, generalmente a contracorriente, aire caliente. Muy utilizado en la industria alimenticia
Rotatorio	Consta de un cilindro hueco que gira sobre su eje con una ligera inclinación para permitir el desliz de los sólidos hacia la boca de salida. Por esta boca se alimenta gas caliente a contracorriente. Es un proceso costoso.
Tambor rotatorio	Tambor de metal calentado. En las paredes

	se evapora el líquido mientras una cuchilla metálica raspa el sólido para que descienda por el tambor. Típico con pastas, suspensiones y soluciones.
Aspersión	Se atomiza una suspensión líquida, la cual es recibida por una corriente a contraflujo de aire caliente que evapora el líquido, de modo que caen partículas sólidas por no ser volátiles.

1.6.5 Secado por aspersión

Entre los diferentes tipos de secado que existen, el secado por aspersión es uno de los procesos comerciales más usados (saborizantes, colorantes, aceites, etc.) (Velázquez, 2015). Dicha elección es debido a que el tiempo de contacto con la corriente de aire caliente es muy corto y en consecuencia el daño debido al calor también es mínimo (Ángeles, 2009).

También, el bajo costo del proceso, la estabilidad del producto terminado, la producción continua a nivel industrial, la formación de partículas sólidas a partir de una disolución en un proceso de una sola etapa y los rendimientos, son características a favor de la elección del secado por aspersión (Velázquez, 2015).

El secado por aspersión es la técnica más utilizada en microencapsulación en la industria alimentaria, y suele aplicarse en la preparación de ingredientes secos y la estabilización de alimentos y sabores (Alpizar-Reyes *et al.*, 2017).

Es un proceso económico y flexible, adaptable a diversos equipos ofreciendo partículas de buena calidad. Los costos de producción asociados a esta técnica son más bajos que aquellos asociados a otras técnicas. Una de las limitaciones del secado por aspersión es el número limitado de materiales encapsulantes con características deseables para la aplicación de esta técnica (Madene *et al.*, 2006; Ré, 2008).

Al disminuir el contenido de agua, el secado por aspersión se utiliza para garantizar la estabilidad microbiológica de los productos, evitar la degradación biológica, reducir gastos de almacenamiento y transporte, y obtener un producto con características específicas, como la solubilidad instantánea (Gharsallaoui *et al.*, 2007).

El secado por aspersión es una operación de proceso continuo que involucra diferentes etapas: atomización, mezclado de rocío y aire, evaporación y separación de productos (Reineccius, 2004), es la transformación de un fluido (solución, dispersión o pasta) en un material sólido, atomizándolo en forma de gotas minúsculas en un medio de secado caliente, dando como producto un polvo o pequeñas esferas.

La distribución del tamaño de partícula obtenido por este método en general es menor a 100 μm , lo cual depende de las condiciones del proceso (Rodríguez-Huezo *et al.*, 2004).

Las etapas fundamentales dentro del secado por aspersión son:

a) Atomización

La atomización de líquidos en pequeñas gotas puede llevarse a cabo por la presión o energía centrífuga. Actualmente se utilizan atomizadores neumáticos, discos giratorios, boquillas de presión, boquillas de fluido y boquillas sónicas. El objetivo de esta etapa es la creación de un máximo intercambio de calor entre la superficie líquida y el aire seco con el fin de optimizar el calor y la transferencia de masa.

La elección de la configuración del atomizador depende de la naturaleza, la viscosidad y las características deseadas del producto seco. Cuanto mayor sea la energía proporcionada, más finas serán las gotas formadas. Sin embargo, el tamaño de las partículas aumenta cuando la viscosidad y la tensión superficial inicial del líquido son altas.

b) Líquido en contacto con corriente caliente

Este contacto tiene lugar durante la atomización y con esto inicia la etapa de secado. Se distinguen dos tipos de contacto: co-corriente (flujo en paralelo) y contracorriente.

En el proceso co-corriente el líquido se atomiza en la misma dirección que el flujo de aire a través del aparato, la temperatura de entrada del aire caliente es normalmente de 150-220°C, por lo que la evaporación sucede de forma instantánea, mientras que la temperatura de salida del producto se encuentra entre 50-80 °C, lo que limita la degradación térmica.

El proceso en contracorriente consiste en alimentar en direcciones opuestas el líquido pulverizado y la corriente de gas caliente, por lo que el producto seco se expone a altas temperaturas, lo que limita su aplicación en productos termo-sensibles. Sin embargo, entre sus principales ventajas se encuentra la reducción en términos de consumo de energía.

c) Evaporación de agua

La transferencia de calor se lleva a cabo del aire a las gotas de líquido esto como resultado de la diferencia de temperatura, la transferencia de agua se lleva a cabo en dirección opuesta debido a la diferencia de presión de vapor (Gutiérrez *et al.*, 1998).

Se identifican 3 etapas principales:

- I. Contacto del gas con el líquido, la transferencia de calor eleva la temperatura de las gotas hasta un valor constante.
- II. La velocidad de difusión de agua de la gota, es generalmente constante e igual a la tasa de evaporación superficial.
- III. Por último, cuando el contenido de agua alcanza un valor crítico, una costra seca se forma en la superficie de la gota, y la velocidad de secado disminuye rápidamente con la progresión del secado y se vuelve dependiente de la tasa de difusión de agua a través de la corteza.

Estas tres etapas tienen duraciones diferentes en función de la naturaleza del producto y de la temperatura de entrada del aire. De hecho, si la temperatura del aire es elevada, se forma rápidamente la corteza seca alrededor de la gota debido a que la tasa de evaporación de agua es alta.

d) Separación Producto seco-Aire húmedo

Esta separación se lleva a cabo por medio de un ciclón, el cual está situado al final de la cámara de aspersión, las partículas más densas se recuperan al final de la cámara de secado, mientras que las más finas pasan por el ciclón para ser separadas del aire húmedo.

Los principales factores que deben ser optimizados en el secado por aspersión son la temperatura de la alimentación, la temperatura de entrada y salida del aire del mismo. Cuando la temperatura de alimentación es alta, la viscosidad y el tamaño de la gota disminuyen, pero las altas temperaturas pueden causar la degradación o la volatilización de algunos componentes sensibles al calor.

Se ha referido que la temperatura en el proceso de secado está relacionada con las características morfológicas, de funcionalidad de los productos (Fang *et al.*, 2012), así como las propiedades higroscópicas (Tonon *et al.*, 2011). La temperatura de entrada del aire se determina generalmente por dos factores: que la temperatura utilizada no dañe el producto o su funcionamiento y el costo comparativo de fuentes de calor.

El secado por aspersión ofrece la ventaja de un secado extremadamente rápido para los productos sensibles al calor, un tamaño y densidad de la partícula de producto que son controlables dentro ciertos límites y costos relativamente bajos de operación (Treybal, 1981). Es indispensable un análisis físico y morfológico de los productos secos para tener un panorama general sobre las propiedades fisicoquímicas y estructurales de las partículas en polvo obtenidas mediante el secado por aspersión, razón por la cual un análisis morfológico mediante microscopia electrónica de barrido y fisicoquímico mediante calorimetría diferencial de barrido es indispensable, para la posible aplicación del mucílago de la semilla de tamarindo secado por aspersión en sistemas dispersos.

1.7 Microscopia electrónica de barrido

La microscopia electrónica de barrido es una técnica muy utilizada para observar la morfología de un compuesto. A diferencia de un microscopio óptico que utiliza fotones del espectro visible, la imagen entregada por el SEM (Scanning electron microscope) se genera

por la interacción de un haz de electrones que “barre” un área determinada sobre la superficie de la muestra (Ardenne, 1999).

La técnica esencialmente consiste en hacer incidir en la muestra un haz de electrones. Este bombardeo de electrones provoca la aparición de diferentes señales que, captadas con detectores adecuados, nos proporcionan información acerca de la naturaleza de la muestra. La señal de electrones secundarios proporciona una imagen de la morfología superficial de la muestra.

La señal de retrodispersados una imagen cualitativa de zonas con distinto número atómico medio, y la señal de rayos X espectros e imágenes acerca de la composición de elementos químicos en la muestra (Carter y Williams, 2006).

1.8 Calorimetría diferencial de barrido

La calorimetría diferencial de barrido (DSC por sus siglas en inglés) es una técnica termoanalítica en la que la diferencia de calor entre una muestra y una referencia es medida como una función de la temperatura. La muestra y la referencia son mantenidas aproximadamente a la misma temperatura (Dean, 1995).

El portador de la muestra aumenta su temperatura de manera lineal con respecto al tiempo. La muestra de referencia debe de tener una capacidad calorífica bien definida en el intervalo de temperaturas que vaya a tener lugar el barrido (Erno, 1995).

El principio básico de esta técnica es: cuando la muestra experimenta una transformación física, tal como una transición de fase, se necesitará que fluya más (o menos) calor a la muestra que a la referencia para mantener ambas a la misma temperatura. El cambio en el flujo de calor dependerá del tipo de proceso, ya sea exotérmico o endotérmico. Lo anterior permite medir la cantidad de calor absorbido o eliminado durante tales transiciones. En estas transiciones están incluidas aquellas que son más sutiles como las transiciones vítreas (Hernandez, 2004).

1.8.1 Aplicaciones.

a) Análisis morfológico de materiales.

La calorimetría diferencial de barrido puede caracterizar procesos como la fusión, la cristalización y las temperaturas de transiciones vítreas. La temperatura de transición vítrea se presenta cuando se aumenta la temperatura de un sólido amorfo dando lugar a una alteración en la línea base de la señal DSC registrada.

Esto se debe a que la muestra experimenta un cambio en la capacidad calorífica sin que tenga lugar un cambio de fase formal.

A medida que la temperatura aumenta, un sólido amorfo se hará menos viscoso y en algún punto del tiempo las moléculas obtendrán suficiente libertad de movimiento para disponerse por sí mismas en una forma cristalina alcanzando la temperatura de cristalización y finalmente, después de un mayor aumento en la temperatura, alcanzara la temperatura de fusión (Santos y Velazco, 1994).

b) Estabilidad de una muestra

Una aplicación más de la calorimetría diferencial de barrido es para estudiar la estabilidad a la oxidación. Este proceso requiere de una cámara hermética. Generalmente este ensayo se lleva a cabo de manera isotérmica, cambiando la atmosfera de la muestra (Arredondo y Sanchez, 2005).

La muestra es sometida a la temperatura de ensayo deseada bajo una atmosfera inerte, usualmente nitrógeno, y posteriormente se adiciona oxígeno al sistema. Cualquier oxidación que tenga lugar es observada como desviaciones de la línea base. Tales análisis pueden ser utilizados para determinar la estabilidad y las condiciones de almacenamiento óptimo de un compuesto (Gil, 1995).

JUSTIFICACIÓN

2. JUSTIFICACIÓN

Hoy en día, nuestro país tiene una creciente necesidad de exportación de distintos productos con características específicas y de buena calidad que permitan competir en un mercado cada vez más globalizado, de ahí la importancia de vincular la investigación con el sector agrícola e industrial para el desarrollo de nuevas tecnologías que ofrezcan un mejor manejo y aprovechamiento de las materias primas producidas asegurando la sustentabilidad de los procesos. Aunado a esto, la industria alimentaria ha dado un giro radical en torno al tipo de alimentos que se producen, ya que el consumidor contemporáneo se declina por productos benéficos para la salud humana, de origen natural, bajo costo y con un aporte nutricional para mejorar la calidad y estilo de vida, lo que ha impactado positivamente en la demanda de hidrocoloides de origen natural.

El hecho de que los mucílagos de algunas semillas a partir de residuos alimentarios son fuentes de hidrocoloides totalmente naturales con aportes calóricos bajos ideales para el desarrollo de alimentos dietéticos, que permiten la recuperación, el reciclaje y la sostenibilidad, los convierte en una opción potencial de estudio para su posterior aplicación como agentes emulsionantes y encapsulantes en el proceso de microencapsulación.

Es bien sabido que la pulpa de tamarindo tiene como campo de aplicación a las bebidas, dulces, salsas, vinos y fármacos, dejando de lado el uso sostenible del mucílago obtenido a partir de las semillas de tamarindo, el cual presenta una alta estabilidad física y termodinámica al ser sometido al secado por aspersion y acondicionado a distintas condiciones de temperatura y actividad de agua, lo cual lo convierte en una opción muy viable para su caracterización como emulsionante y agente encapsulante dentro de la industria de la microencapsulación.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Bajo qué condiciones físicas, el mucílago de la semilla de tamarindo representa una opción favorable como agente emulsionante?

OBJETIVOS

4. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Estudiar las propiedades emulsionantes del mucílago de la semilla de tamarindo

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Extraer el mucílago de tamarindo mediante un proceso físico y obtenerlo en forma de polvo mediante secado por aspersión.
- Determinar las propiedades emulsionantes del mucílago de tamarindo (capacidad de emulsión y estabilidad de emulsión).
- Establecer la capacidad de absorción de agua y de aceite.
- Evaluar las propiedades físicas del mucílago (ángulo de reposo, hinchamiento y radio efectivo de partícula).
- Describir la morfología del mucílago de tamarindo mediante microscopía electrónica de barrido.
- Determinar la estabilidad térmica del mucílago de tamarindo mediante calorimetría diferencial de barrido.

MATERIALES Y METODOLOGÍA

5. MATERIALES Y METODOLOGÍA

5.1 Materiales

El tamarindo (*Tamarindus indica L.*) fue comprado en un centro comercial de la ciudad de Toluca, Estado de México, México. Los reactivos químicos fueron comprados a la empresa Sigma Aldrich S.A. de C.V. en Toluca, Estado de México, México. Toda el agua usada en el experimento fue bidestilada.

5.2 Metodología

5.2.1 Extracción del mucílago de la semilla de tamarindo

La extracción del mucílago se llevó a cabo según el método propuesto por Khounvilay y Sittikijyothin (2012), con algunas modificaciones. Las semillas fueron extraídas manualmente de las vainas ya maduras del tamarindo. Las semillas fueron molidas en un molino de martillos PULVEX 100 MINI 2HP (Ciudad de México, México). Se tomaron 20g de semillas molidas y se colocaron en un vaso de precipitados de un litro. Se agregó agua bidestilada en una proporción de 1:10 en peso. La mezcla resultante fue puesta en agitación con un agitador magnético hasta alcanzar una mezcla homogénea. Posteriormente se agregó agua bidestilada en una proporción de 1:40 en peso tomando como referencia el peso inicial de las semillas y se mantuvo en constante agitación. La mezcla fue calentada hasta alcanzar una temperatura de 80°C la cual se mantuvo constante por 60 minutos. Una vez transcurrido el tiempo la mezcla se resguardo a 20°C durante 24 horas para asegurar la liberación del mucílago. Por último, se centrifugó la mezcla con una centrifuga de alta velocidad Hermle Z323K (Hermle, Labortechnik, Alemania) por ocho minutos a 524 x g. El supernadante representa la porción obtenida de mucílago el cual fue decantado y se almaceno a -4°C hasta ser requerido para análisis posteriores.

5.2.2 Secado por aspersión del mucílago de tamarindo

El mucílago extraído fue alimentado a un flujo de 40 mL/min a un secador por aspersión Nichols/Niro (Turbo Spray PLA, NY, EEUU) con una temperatura a la entrada de $135 \pm 5^\circ\text{C}$, y a la salida de $80 \pm 5^\circ\text{C}$. La presión del aire comprimido suministrado fue de 4 bar. El producto final fue almacenado, hasta que fuera requerido, en un desecador con pentóxido de difosforo para prevenir el incremento del contenido de humedad del polvo.

5.2.3 Rendimiento

El porcentaje de rendimiento fue calculado por la relación entre la cantidad de semilla de tamarindo seca usada para el proceso de extracción y la cantidad de mucílago atomizado obtenido después de la extracción (1):

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{masa del mucilago seco}}{\text{masa de la semilla utilizada}} \times 100 \quad (1)$$

5.2.4 Índice de hinchamiento

El índice de hinchamiento fue determinado a diferentes condiciones de temperatura (25, 45 y 65°C) y pH (4, 7 y 10) de acuerdo al método propuesto por Archana et al. (2013) con algunas modificaciones. Se pesaron 10 mg de mucílago de la semilla del tamarindo y fue hidratado en una solución acuosa (100 mL) por 24 horas. Transcurrido el tiempo, se secó superficialmente el material hinchado con papel absorbente y se procedió a registrar el peso. El índice de hinchamiento (IH) se calculó de la siguiente manera (2):

$$IH = \frac{\text{Peso de los granulos hinchados}}{\text{Peso de la muestra}} \quad (2)$$

5.2.6 Capacidad de absorción en agua y aceite

La capacidad de absorción en agua (*CAA*) y en aceite (*CAO*) fueron medidas mediante el método descrito por Ghribi et al. (2016). Dichas mediciones fueron llevadas a cabo a diferentes valores de temperatura (25, 45 y 65°C).

Para la *CAA* se preparó una mezcla al 1% (p/v) de mucílago y fue colocada en un tubo para centrifuga, previamente pesado, el cual contenía en su interior un agitador magnético. El sistema fue puesto en agitación durante 30 minutos al valor deseado de temperatura constante. Después el tubo se colocó en una centrifuga de alta velocidad Hermle Z323K (Hermle, Labortechnik, Alemania) por 15 minutos a $524 \times g$. El supernadante fue decantado y la muestra se volvió a pesar. El *CAA* fue calculado con la siguiente expresión (4):

$$CAA = \frac{\text{Peso del agua absorbida}}{\text{Peso de la muestra}} \quad (4)$$

Para la *CAO* se preparó una mezcla al 1% (p/v) de mucílago con aceite vegetal (Cristal ®) y fue colocada en un tubo para centrifuga, previamente pesado, el cual contenía en su interior un agitador magnético. El sistema fue puesto en agitación durante 30 minutos al valor deseado de temperatura constante. Después el tubo se colocó en una centrifuga de alta velocidad Hermle Z323K (Hermle, Labortechnik, Alemania) por 15 minutos a $524 \times g$. El supernadante fue decantado y la muestra se volvió a pesar. El *CAA* fue calculado con la siguiente expresión (5):

$$CAO = \frac{\text{Peso del aceite absorbido}}{\text{Peso de la muestra}} \quad (5)$$

5.2.7 Capacidad emulsionante y estabilidad

Se utilizaron muestras del mucílago para determinar propiedades emulsionantes basadas en el método propuesto por Coorey *et al.* (2014). La emulsión fue preparada homogeneizando 150 mL de mezclas con 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1% (p/v) de mucílago con 10 mL de aceite vegetal (Cristal ®) en un homogeneizador Ultra-Turrax T50 (IKA®-WERKE Works Inc., Wilmington, NC, EEUU) a 6400 RPM por tres minutos. La emulsión fue centrifugada en una centrifuga de alta velocidad Hermle Z323K (Hermle, Labortechnik, Alemania) por 10 minutos a $524 \times g$. La capacidad de emulsionante fue calculada de la siguiente manera (6):

$$\%CE = \frac{\text{Volumen de la emulsión}}{\text{Volumen total}} \times 100 \quad (6)$$

El procedimiento para determinar la estabilidad de la emulsión fue similar al procedimiento de la capacidad emulsionante.

La diferencia es después de haber homogeneizado la mezcla, se calienta en un baño de agua a 80°C por 30 minutos y enfriado a temperatura ambiente ($20 \pm 2^{\circ}\text{C}$) y centrifugado por 10 minutos a $524 \times g$. La capa de emulsión, la estabilidad, fue medida con la siguiente ecuación (7):

$$\%EE = \frac{\text{Volumen final de la emulsión}}{\text{Volumen inicial de la emulsión}} \times 100 \quad (7)$$

5.2.8 Morfología del mucílago

La morfología superficial fue observada utilizando un microscopio electrónico de alto vacío modelo JSM-6510 (Jeol Co. Ltd., Tokio, Japón) a un voltaje de aceleración de electrones de 15 kV., colocando el mucílago en un portamuestras usando una cinta adhesiva por ambos lados para examinar su estructura externa.

5.2.9 Caracterización térmica

La caracterización térmica del mucílago fue estudiada utilizando un calorímetro diferencial de barrido y análisis termogravimétricos. Los análisis fueron llevados a cabo en un analizador térmico Netzsch STA 449 F3 (Jupiter ®, Selb, Alemania) con una rampa de calentamiento de 10 °C/min, en atmosfera de nitrógeno con un flujo de 20 mL/min. Las muestras fueron calentadas de 25°C a 560°C. El algoritmo utilizado fue Savitzki-Golay para las curvas TGA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Rendimiento de la extracción

El rendimiento de la extracción del mucílago de la semilla del tamarindo fue evaluado considerando el secado de la muestra antes del proceso de extracción y la cantidad final de material seco; el resultado fue un promedio de $18.14 \pm 1.93\%$. Este valor es similar con el experimento de *Opuntia Malva* para obtener goma de nuez con un valor de 20% (Somboonpanyakul *et al.*, 2006), goma de mesquite con un valor de 24.9% (Estevez *et al.*, 2004), mucílago de la planta *Cereus triangularis* cladodes con un valor de 24% (Peters *et al.*, 2015) mucílago extraído de la semilla *lepidium perfoliatum* con un valor de 10% a 18% (Koocheki *et al.*, 2009) y opuntia con un valor de 18% a 20% (Sepulveda *et al.*, 2007).

Por lo tanto, el rendimiento obtenido indica que el proceso de extracción seguido podría ser una opción factible para procesar semillas de tamarindo asumidas, a veces, como subproducto de la industria de pulpa de tamarindo convirtiéndose en un importante mucílago comercial como una fuente nueva de hidrocoloide de alimentos.

6.2 Índice de hinchamiento

El índice de hinchamiento del mucílago de la semilla de tamarindo se muestra en la tabla 6.2.1; este fue determinado a diferentes condiciones de temperatura y pH.

Tabla 6.2.1 Índice de hinchamiento.

T	Índice de hinchamiento (II)		
	pH 4	pH 7	pH 10
(°C)	(g/g)	(g/g)	(g/g)
25	2.28	1.17	3.346
45	2.754	1.399	3.779
65	4.682	1.547	10.366

Se encontró que el hinchamiento era favorecido cuando la temperatura aumentaba, independientemente del valor del pH. Con un valor de pH neutro (7.0) el índice de hinchamiento fue el mínimo para las tres temperaturas estudiadas. La capacidad de hinchamiento denota el grado de hidratación de los gránulos, por lo tanto, una mayor capacidad de hinchamiento indica que existen fuerzas de unión más débiles, hecho que explica el incremento de dicha capacidad cuando la temperatura incrementa originando que la interacción entre moléculas se vuelva más débil.

Los valores del índice de hinchamiento se pueden comparar con los reportados para la goma de Aegle marmelos (4.2) y goma guar (3.8) (Jindal *et al.*, 2013). Los valores mostrados en tabla pueden indicar altos niveles de reticulación, dificultando los mecanismos de difusión para el mucílago secado por aspersión. A medida que la densidad de la reticulación aumenta, existe un incremento subsecuente de la hidrofobicidad y una disminución en la capacidad de hinchamiento (Prommakool *et al.*, 2011).

6.3 Capacidad de absorción en agua y aceite

La capacidad de absorción en agua (CAA) es una propiedad importante en la tecnología alimenticia desde el punto de vista de estabilidad, rendimiento, textura y evaluación sensorial. La CAA representa la cantidad de agua retenida y absorbida por una muestra hidratada después de que una fuerza externa le es aplicada.

Tabla 6.3.1 Propiedades funcionales del mucílago de la semilla de tamarindo.

T	CAA	CAO
°C	g/g	g/g
25	0.186	0.068
45	0.219	0.104
65	1.067	0.133

La CAA se muestra como contenido de la tabla 6.3.1; este valor incrementa a medida que la temperatura también incrementa. Esto puede explicarse porque un incremento en la temperatura da como resultado un incremento en la movilidad molecular que promueve la absorción de agua y aumenta el grado de agua retenida por la muestra.

Se han reportado valores similares de la CAA para goma de judía mungo (0.63 g/g), goma de semilla de karaya (0.67 g/g) (Galla y Dubasi, 2004) y goma de semilla de durian crudo (entre 1.395 y 2.74 g/g) (Amid y Mirhosseini, 2012).

La capacidad de absorción en aceite (CAO) es una de las propiedades funcionales más importante en los hidrocoloides. Se define como la retención de aceite a través de los sitios laterales no polares dentro de las moléculas de proteína. Así como la CAA, la CAO (tabla 6.3.1) incrementa a razón que la temperatura también aumente. Esto puede deberse a que la disponibilidad de cadenas no polares incrementa con el aumento de la movilidad molecular y puede unirse a las unidades hidrocarbonadas de aceite (Amid y Mirhosseini, 2012). Además, también podría estar influenciado por el tamaño de poro que se ha observado aumenta cuando se eleva la temperatura permitiendo un mayor atrapamiento de grasas (Ghribi *et al.*, 2016).

Existen valores similares reportados para la goma de semilla de durian (entre 0.832 y 1.69 g/g) (Amid y Mirhosseini, 2012) y goma de guar y xantano (entre 2 y 6 g/g) (Segura-Campos *et al.*, 2015). Estos valores muestran que el mucílago de la semilla de tamarindo podría desarrollar un papel importante en el procesamiento de alimentos ya que la grasa actúa sobre los retenedores de sabor y potencializa los diversos sabores de los alimentos.

6.4 Capacidad emulsionante y estabilidad

La capacidad de un hidrocoloide para aumentar la formación y estabilización de emulsiones es importante para muchas aplicaciones en productos alimenticios debido a que se requieren diversas capacidades emulsionantes y estabilizadoras y así lograr obtener las características deseadas en los productos finales.

La capacidad emulsionante (CE) mide la habilidad de un agente emulsionante para formar una dispersión de dos fases (agua/aceite o aceite/agua) mientras que la estabilidad de emulsión (EE) mide su descomposición a lo largo del tiempo.

Tabla 6.4.1 Propiedades emulsionantes del mucílago de la semilla de tamarindo.

w/v	Capacidad emulsionante (CE)	Estabilidad de la emulsión (EE)
%	%	%
0.2	78.333	91.064
0.4	80.000	89.795
0.6	86.833	83.685
0.8	88.167	82.991
1.0	90.000	82.222

La CE aumentó cuando se incrementó el peso de la proporción del mucílago de la semilla de tamarindo secado por aspersión o cuando se incrementó el volumen de aceite (tabla 6.4.1). Esto se debe a un aumento en la cantidad de cadenas disponibles de la estructura ramificada en la superficie activa para absorber moléculas de aceite, causando que baje la tensión superficial (Jindal *et al.*, 2013; Quian *et al.*, 2011).

Existen valores reportados similares para la goma de durazno (95% a 0.625% de w/v) (Quian *et al.*, 2011), goma de xantano (94% a 2% de w/v), semilla de albahaca lima (74.41% a 2% de w/v) (Archana *et al.*, 2013), goma de Aegle marmelos (98.2% a 0.75% de w/v) (Jindal *et al.*, 2013).

La EE decrece cuando se incrementó el peso de la proporción del mucílago de la semilla de tamarindo secado por aspersión o cuando se incrementó el volumen de aceite. Esto podría atribuirse a una reducción en la tensión superficial del mucílago seco.

Los valores de la EE también son comparables con la goma de durazno (96%) (Quian *et al.*, 2011) y la goma de Aegle marmelos (98.2%) (Jindal *et al.*, 2013).

6.5 Morfología del mucílago

El análisis de las imágenes en las figuras 6.5.1-3 a acercamientos de 1000x, 1500x y 5000x mediante microscopía electrónica de barrido revelan la morfología de la superficie del mucílago de la semilla de tamarindo. Estas imágenes muestran muros continuos, sin fisuras, agrietamientos o interrupciones. Son partículas semiesféricas con estructura y apariencia polimérica, de tamaño regular las cuales muestran cavidades atribuidas a una rápida evaporación de gotas de líquido durante el proceso de secado por aspersión en el atomizador (Alpizar-Reyes *et al.*, 2017).

Esta característica morfológica se muestra en secado por aspersión de los mucílagos orgánicos como el cladodio de pitahaya y nopal (García-Cruz *et al.*, 2013).

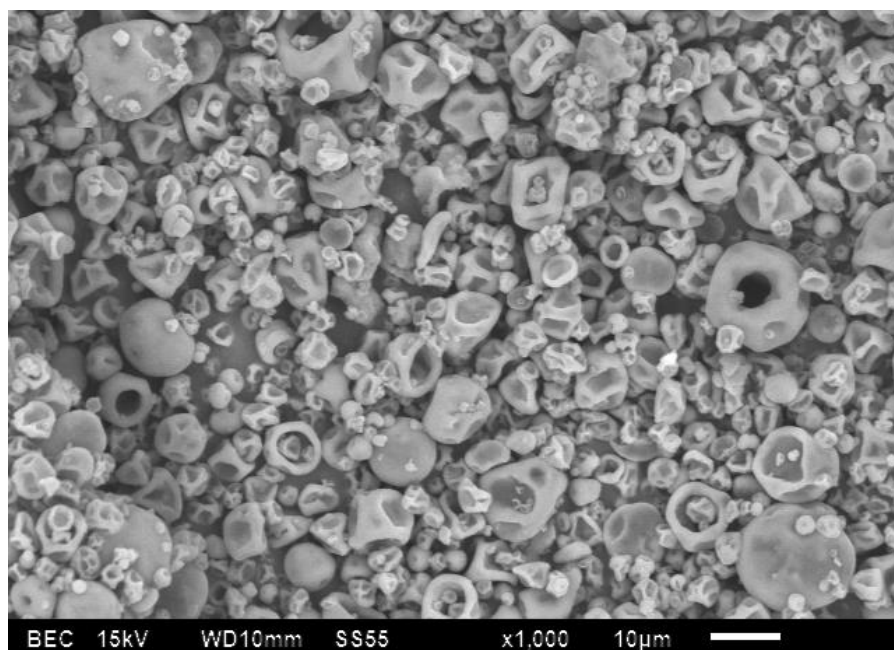


Figura 6.5.1 Mucílago de la semilla de tamarindo a 1000x.

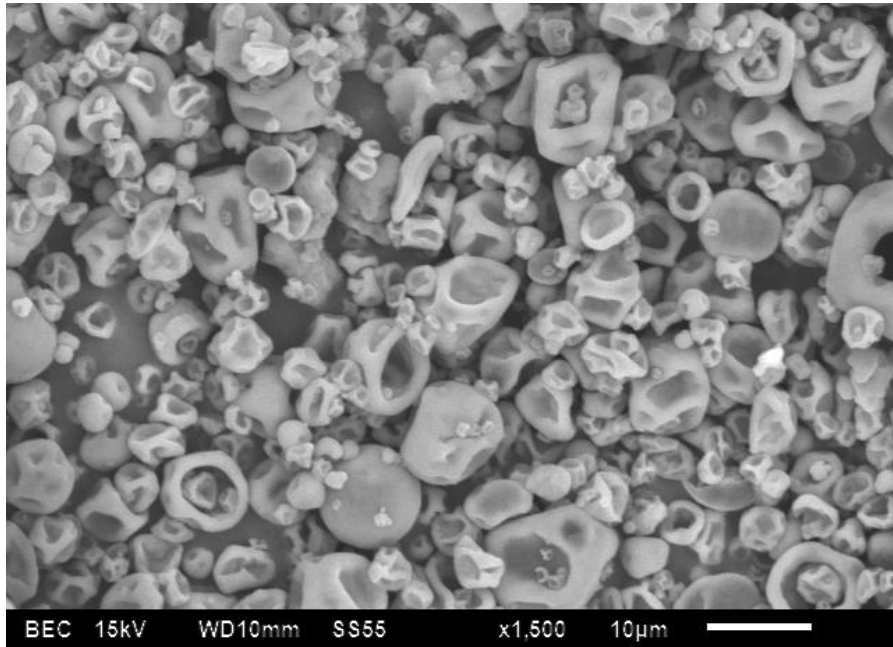


Figura 6.5.2 Mucílago de la semilla de tamarindo a 1500x.

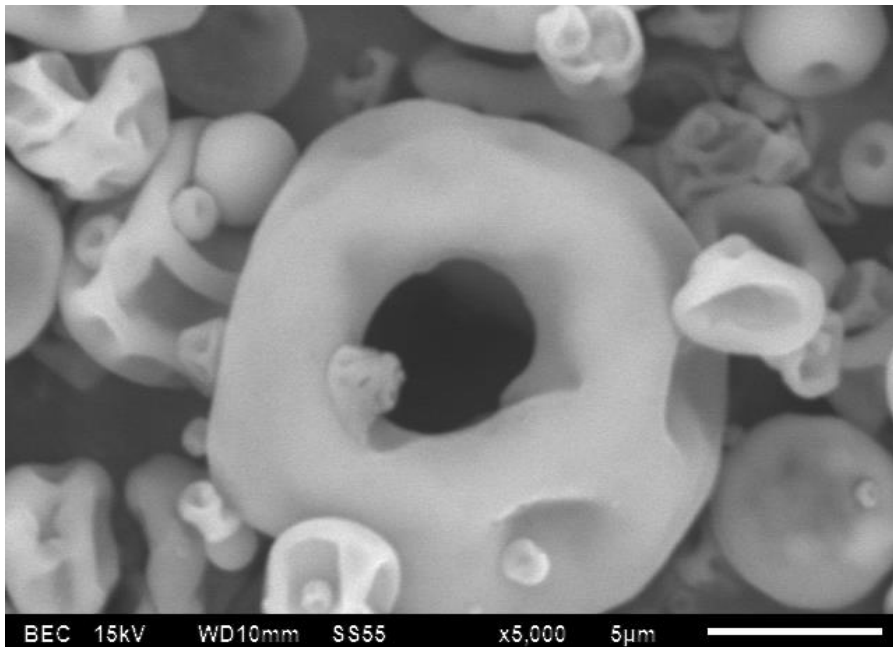


Figura 6.5.3 Mucílago de la semilla de tamarindo a 5000x.

6.6 Caracterización térmica

La figura 6.6.1 muestra la curva termogravimétrica del mucílago de la semilla de tamarindo, la cual no muestra ninguna pérdida significativa de peso debajo de los 175 °C. La muestra presentó una pérdida del 51.7% de su peso a temperaturas por arriba de los 175 °C. El mínimo peso que perdió por debajo de los 175 °C puede atribuirse a humedad adsorbida en su estructura que a su vez se asocia con la naturaleza hidrófila de los grupos funcionales de cada polisacárido. La pérdida de la mitad de su peso por encima de la temperatura antes mencionada puede deberse a la descomposición térmica del polisacárido.

Se han observado rangos similares de pérdida de peso en la carboximetil celulosa (146.3 °C) (Zohuriaan y Shokrolahi, 2004), y gomas de semillas de lanzan (170.4 °C) y zapote (178.6 °C) (Bothara y Singh, 2012).

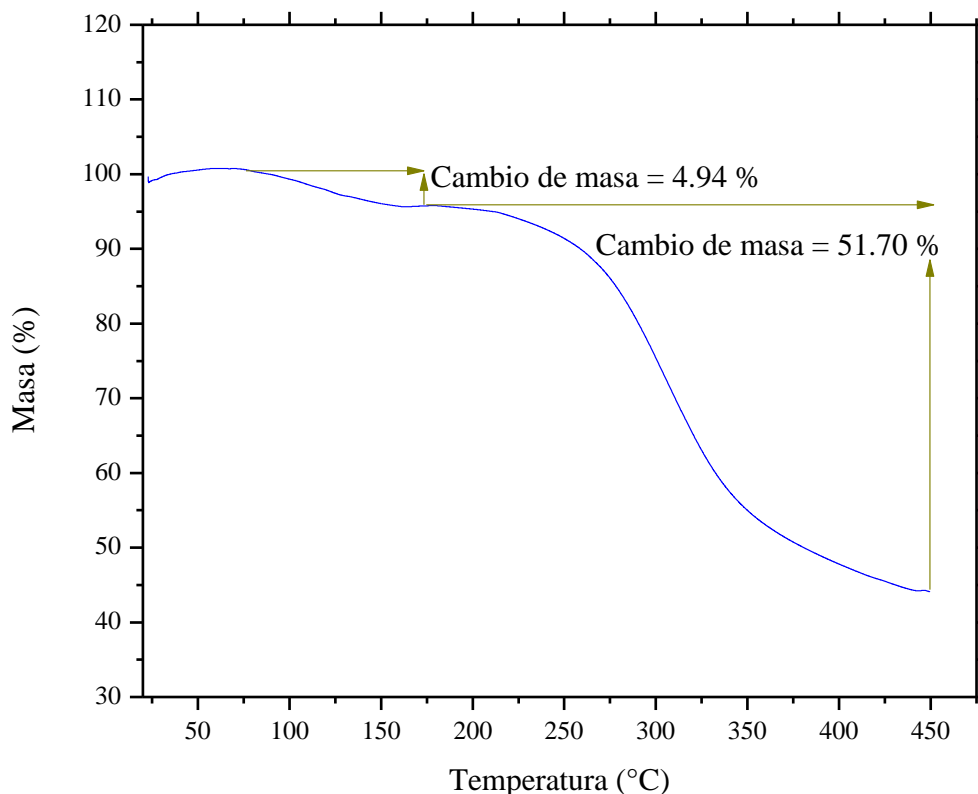


Figura 6.6.1 Curva termogravimétrica del mucílago de la semilla de tamarindo.

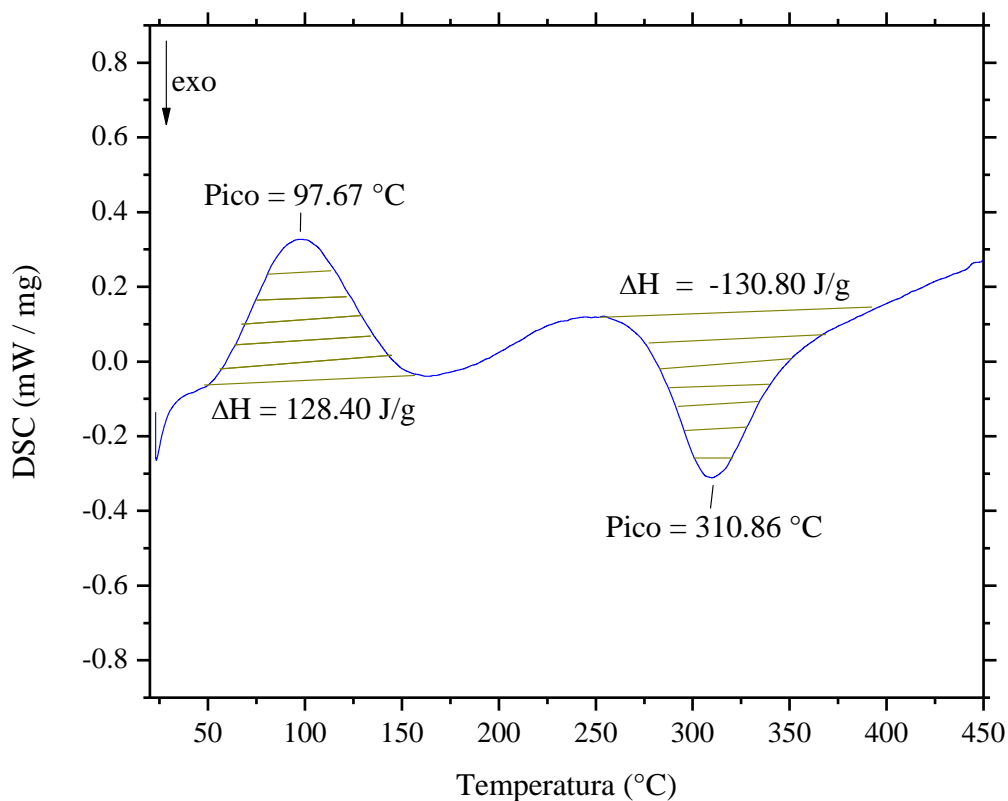


Figura 6.6.2 Calorimetría diferencial de barrido del mucílago de la semilla de tamarindo.

Para el caso del análisis mediante calorimetría diferencial de barrido se encontraron dos picos (Figura 6.6.2). El primer pico mostró eventos endotérmicos tempranos en el rango de temperaturas entre 60 y 150 °C, lo que se puede explicar por la evaporación de agua. El segundo evento se relacionó con un pico endotérmico entre los 260 y 380 °C. La caracterización térmica sugiere que el mucílago de la semilla de tamarindo es altamente termoestable y podría utilizarse en la formación de biomateriales para diversos fines industriales tales como suspensiones o emulsiones estabilizantes y microencapsulación.

CONCLUSIONES

7. CONCLUSIONES

El rendimiento de la extracción del mucílago de la semilla del tamarindo indica que el proceso de extracción seguido es una opción factible para procesar semillas de tamarindo asumidas como un subproducto de la industria de pulpa de tamarindo convirtiéndose en un importante mucílago comercial como una fuente nueva de hidrocoloide de alimentos.

Se encontró que el hinchamiento era favorecido cuando la temperatura aumentaba, independientemente del valor del pH, por lo tanto, una mayor capacidad de hinchamiento indicó que la interacción entre las moléculas se vuelva más débil cuando la temperatura incrementa.

La capacidad de absorción de agua y aceite incrementó de acuerdo a incrementos de la temperatura fenómeno que se atribuyó a que la disponibilidad de cadenas no polares incrementa con el aumento de la movilidad molecular y se permite la unión a las unidades hidrocarbonadas de aceite, además, podría estar influenciado por el tamaño de poro que se ha observado aumenta cuando se eleva la temperatura permitiendo un mayor atrapamiento de aceites.

La estabilidad emulsionante decrece cuando se incrementó el peso de la proporción del mucílago respecto a él volumen de aceite debido a una reducción en la tensión superficial del mucílago seco.

La morfología de la superficie del mucílago de la semilla de tamarindo mostró paredes continuas sin fisuras, grietas o interrupciones con una estructura de partículas parecida a la piel o de aspecto polimérico, fenómeno que resulta inherente al proceso de secado por aspersión.

Las propiedades fisicoquímicas (termogavimetría y calorimetría diferencial de barrido) mostraron dos eventos con picos considerables. El primer pico endotérmico se atribuye a la pérdida de humedad adsorbida en la estructura que a su vez se asocia con la naturaleza hidrófila

de los grupos funcionales de cada polisacárido y el segundo pico exotérmico se debe a la descomposición térmica del polisacárido. La caracterización térmica sugiere que el mucílago de la semilla de tamarindo es altamente termoestable y podría utilizarse en la formación de biomateriales para diversos fines industriales tales como suspensiones o emulsiones estabilizantes y microencapsulación.

Por lo tanto, se encontró que esta fuente sostenible de hidrocoloide mostró propiedades funcionales y emulsionantes, morfología y características físico-químicas que permiten competir con hidrocoloides comerciales como coloides protectores en industrias de consumo humano.

BIBLIOGRAFÍA

8. BIBLIOGRAFÍA

Alpizar-Reyes, E., Carrillo-Navas, H., Romero-Romero, R., Varela-Guerrero, V., Alvarez-Ramírez, J., Pérez-Alonso, C., 2017. Thermodynamic sorption properties and glass transition temperature of tamarind seed mucilage (*Tamarindus indica* L.). Food and Bioproducts Processing, Volumen 101, pp.166–176.

Azeredo, H.M.C., Santos, A. N., Souza, A.C.R., Mendes, K. C. B., Andrade, M.I.R., 2007. Betacyanin Stability During Processing and Storage of Microencapsulated Red Beetroot Extract. American Journal of Food Technology, Volumen 2(4), pp. 307-312.

Beristain, C.I., Azuara, E., Vernon-Carter, E.J., 2002. Effect of water activity on the stability to oxidation of spray-dried encapsulated orange peel oil using mesquite gum (*Prosopis juliflora*) as wall material. Journal of Food Science, Volumen 67, pp. 206-211.

Beristain, C.I., García, H. S., Azuara, E., 1996. Enthalpy-entropy compensation in food vapor adsorption. Journal of Food Engineering, Volumen 30, pp. 405-415.

Bonilla, E., Azuara, E., Beristain, C.I., Vernon-Carter, E.J., 2010. Predicting suitable storage conditions for spray-died microcapsules formed with different biopolymer matrices. Food Hydrocolloids, Volumen 24, pp. 633-640.

Fang, X., Shima, M., Adachi, S., 2005. Effects of drying conditions on the oxidation of linoleic acid encapsulated with gum Arabic by spray drying. International Journal Food Science and Technology, Volumen 11, pp. 380-384.

Fang, Y., Rogers, S., Selomulya, C., Dong, C.X., 2012. Functionality of milk protein concentrate: Effect of spray drying temperature. Biochemical Engineering Journal, Volumen 62, pp. 101-105.

Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., Saurel, R., 2007. Applications of spray drying in microencapsulation of food ingredients. Food Research International, Volumen 40, pp. 1107-1121.

Gutiérrez, G., Osorio, G., Jiménez, A., Pyle, L., 1998. An Assessment of droplet-air contact and spray drying performance in bioprocess engineering. *Advances in Bioprocess Engineering*, Volumen 11, pp. 251-275.

Madene, A., Jacquot, M., Scher, J., Desobry, S., 2006. Flavour encapsulation and controlled release – a review. *International Journal of Food Science and Technology*, Volumen 41, pp. 1-21.

Moraga, G., Igual, M., García-Martínez, E., Mosquera, L.H., Martínez-Navarrete, N., 2012. Effect of relative humidity and storage time on the bioactive compounds and functional properties of grapefruit powder. *Journal of Food Engineering*, Volumen 112, pp. 191–199.

Pavón-García, L.M.A., Pérez-Alonso, C., Orozco-Villafuerte, J., Pimentel-González, D.J., Rodríguez-Huezo, M.E., Vernon-Carter, E.J., 2011. Storage stability of the natural colourant from *Justicia spicigera* microencapsulated in protective colloids blends by spray-drying. *International Journal of Food Science and Technology*, Volumen 46(7), pp. 1428-1437.

Pérez-Alonso, C, Báez-González, J G, Beristain, C I, Vernon-Carter, E J, Vizcarra-Mendoza, M G., 2003. Estimation of the activation energy of carbohydrate polymers blends as selection criteria for the use as wall material for spray-dried microcapsules. *Carbohydrate Polymers*, Volumen 53, pp. 197-203.

Pérez-Alonso, C, Beristain, C I, Lobato-Caballeros, C, Rodríguez-Huezo, M E, Vernon-Carter, E J, 2006. Thermodynamic analysis of the sorption isotherms of pure and blend carbohydrate polymers. *Journal of Food Engineering*, Volumen 77, pp. 753-760.

Pérez-Alonso, C., Cruz-Olivares, J., Ramirez, A., Román-Guerrero, A., Vernon-Carter, E.J., 2011. Moisture diffusion in allspice (*Pimenta dioica* L. *merril*) fruits during fluidized bed drying. *Journal of Food Processing and Preservation*, Volumen 35(3), pp. 308-312.

Pitalua, E., Jimenez, M., Vernon-Carter, E.J., Beristain, C.I., 2010. Antioxidative activity of microcapsules with beetroot. *Food and Bioprocesses*, Volumen 88, pp. 253-258.

Reineccius, G. A., 2004. The Spray Drying of Food Flavors. *Drying Technology*, Volumen 22:6, pp. 1289-1324.

Ré, M. I., 1998. Microencapsulation by spray-drying. *Drying Technology*, Volumen 16, pp. 1195–1236.

Rodríguez-Huezo, M.E., Pedroza-Islas, R., Prado-Barragán, L.A., Beristain, C.I., Vernon-Carter, E.J., 2004. *Journal of Food Science*. Microencapsulation by spray-drying of multiple emulsions containing carotenoids, Volumen 69, pp. 351-359.

Rodríguez-Huezo, M.E., Pedroza-Islas, R., Prado-Barragán, L.A., Beristain, C.I., Vernon-Carter, E.J., 2010. Water sorption and glass transition temperatures in red raspberry (*Rubus idaeus*). *Thermochimica Acta*, Volumen 503–504, pp. 90–96.

Sánchez-Sáenz, E.O., Pérez-Alonso, C., Cruz-Olivares, J., Román-Guerrero, A., Báez-González, J.G., Rodríguez-Huezo, M.E., 2011. Establishing the most suitable storage conditions for microencapsulated allspice essential oil entrapped in blended biopolymers matrices. *Drying Technology*, Volumen 29(8), pp. 863-872.

Tonon, R.V., Baroni, A.F., Brabet, C., Gibert, O., Pallet, D., 2009. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. *Journal of Food Engineering*, Volumen 94, pp. 215–221.

Tonon, R.V., Freitas, S.S., Hubinger, M.D., 2011. Spray drying of Açai (*Euterpe Oleraceae* Mart.) juice: Effect of inlet air temperature and type of carrier agent. *Journal of Food Processing and Preservation*, Volumen 35, pp. 691-700.

Tonon, R. V., Grosso, C.R., Hubinger, M.D., 2011. Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying. *Food Research International*, Volumen 44, pp. 282-289.

Treybal, R. E., 1981. *Mass-transfer operations*. Singapore: McGraw-Hill.

Archana, G., Sabina K., Babuskin, S., Radhakrishnan, K., Mohammed, M., Fayidh, A., Azhagu, P., Babu, S., Sivarajan, M., Sukumar, M., 2013. Preparation and characterization

of mucilage polysaccharide for biomedical applications. *Carbohydrate Polymers*, Volumen 98, pp. 89– 94.

Cervantes-Martínez, C., Medina-Torres, L., Gonzáles-Laredo, R., Calderas, F., Sánchez-Olivares, G., Herrera-Valencia, E., 2014. Study of spray drying of the Aloe vera mucilage (*Aloe vera barbadensis* Miller) as a function of its rheological properties. *LWT - Food Science and Technology*, Volumen 55, pp. 426-435.

Dickinson, E., 2009. Hydrocolloids as emulsifiers and emulsion stabilizers. *Food Hydrocolloids*, Volumen 23(6), 1473–1482.

Escalona-García, L.A., Pedroza-Islas, R., Natividad, R., Rodríguez-Huezo, M. E., Carrillo-Navas, H., Pérez-Alonso, C., 2016. Oxidation kinetics and thermodynamic analysis of chia oil microencapsulated in a whey protein concentrate-polysaccharide matrix. *Journal of Food Engineering*, Volumen 175, pp. 93-103.

Fang, G., Tang, F., Cao, L., 2014. Preparation, thermal properties and applications of shape-stabilized thermal energy storage materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volumen 40, pp. 237-259.

Freitas, R.A., Martin, S., Santos, G.L., Valenga, F., Buckeridge, M.S., Reicher, F., 2005. Physico-chemical properties of seed xyloglucans from different sources. *Carbohydrate Polymers*, Volumen 60, 507-514.

Glicksman, M., 1982. *Food Hydrocolloids*. New York: *CRC Press*, 1, 219.

Guadarrama-Lezama, A. Y., Dorantes-Alvarez, L., Jaramillo-Flores, M. E., Pérez-Alonso, C., Niranjana, K., Gutiérrez-López, G. F., Alamilla-Beltrán, L., 2012. Preparation and characterization of non-aqueous extracts from chilli (*Capsicum annuum* L.) and their microencapsulates obtained by spray-drying. *Journal of Food Engineering*, Volumen 112(1), pp. 29-37.

Khounvilay K., Sittikijyothin W., 2012. Rheological behaviour of tamarind seed gum in aqueous solutions. *Food Hydrocolloids*, Volumen 26(2), pp. 334-338.

Kumar C.S., Bhattacharya S., 2008. Tamarind seed: properties. Processing and Utilization. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Volumen 48, pp. 1-20.

Lamba, H., Satish, K., Sabikhi, L., 2015. Double emulsions: emerging delivery system for plan bioactives. *Food bioprocess technology*, Volumen 8, pp. 709-728.

León-Martínez F.M., Méndez-Lagunas, L.L., Rodríguez-Ramírez, J., 2010. Spray drying of nopal mucilage (*Opuntia ficus-indica*): Effects on powder properties and characterization. *Carbohydrate Polymers*, Volumen 81, pp. 864–870.

Li, J.M., Nie, S.P., 2015. The functional and nutritional aspects of hydrocolloids in foods. *Food Hydrocolloids*, Volumen 61, pp. 638-652.

López-Franco, Y.L., Cervantes-Montaño, C.I., Martínez-Robinson, K.G., Lizardi-Mendoza, J., Robles-Ozuna, L.E., 2013. Physicochemical characterization and functional properties of galactomannans from mesquite seeds (*Prosopis spp.*). *Food Hydrocolloids*, Volumen 30, pp. 656-660.

Manchanda, R., Arora, S., Manchanda, R., 2014. Tamarind Seed Polysaccharide and its Modifications-Versatile Pharmaceutical Excipients–A Review. *International Journal of Pharmaceutical Technology Research*, Volumen 6(2), pp. 412-420.

McClements, DJ, Decker, EA, Weiss, J., 2007. Emulsion-based delivery systems for lipophilic bioactive components. *Journal of Food Science*, Volumen 72(8), pp. 109-124.

McClements, D., 1999. Food emulsions. Principles, practice, and techniques. *CRC Press, Boca Raton*.

Muñoz, L.A., Aguilera, J.M., Rodriguez-Turienzo, L., Cobos, A., Diaz, O., 2012. Characterization and microstructure of films made from mucilage of *Salvia hispanica* and whey protein concentrate. *Journal of Food Engineering*, Volumen 111, pp. 511-518.

Nussinovitch, A., Hirashima, M., 2014. Cooking innovations: Using hydrocolloids for thickening, gelling, and emulsification. *Boca Raton: Taylor & Francis*.

Ozturk, B., McClements, D., 2016. Progress in natural emulsifiers for utilization in food emulsions. *Current Opinion in Food Science*, Volumen 1, pp. 1-6.

Pérez-Alonso, C., Beristain, C.I., Lobato-Caballeros, C., Rodriguez-Huezo, M.E., Vernon-Carter, E.J., 2006. Thermodynamic analysis of the sorption isotherms of pure and blend carbohydrate polymers. *Journal of Food Engineering*, Volumen 77, pp. 753-760.

Peter, K.V., 2012. *Handbook of Herbs and Spices*, Elsevier Science.

Phillips, G.O., Williams, P.A., 2009. *Handbook of hydrocolloids*. Second ed. Woodhead Publishing Series, Elsevier Science. Pp. 535-566.

Prajapati, V.D., Jani, G.K., Moradiya, N.G., Randeria, N.P., Nagar, B.J., 2013. Locust bean gum: A versatile biopolymer. *Carbohydrate Polymers*, Volumen 94(2), pp. 814–821.

Rodea González, D.A., Cruz Olivares, J., Román Guerrero, A., Rodríguez-Huezco, M.E., Vernon-Carter, E.J., Pérez-Alonso, C., 2012. Spray-dried encapsulation of chia essential oil (*Salvia hispanica* L.) in whey protein concentrate-polysaccharide matrices. *Journal of Food Engineering*, Volumen 111, pp. 102-109.

Ruiz-Ramos, J., Pérez-Orozco, J., Báez-González, J., Bósquez-Molina, E., Pérez-Alonso, C., Vernon-Carter, E.J., 2006. Interrelationship between the viscoelastic properties and effective moisture diffusivity of emulsions with the water vapor permeability of edible films estabilized by mesquite gum-chitosan complexes. *Carbohydrate Polymers*, Volumen 64, pp. 355-363.

Saha, D., Bhattacharya, S., 2010. Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review. *International Journal of Food Science and Technology*, Volumen 47(6), pp. 587–597.

Salehi, F., Kashaninejad, M., 2014. Effect of Different Drying Methods on Rheological and Textural Properties of Balangu Seed Gum. *Drying Technology*, Volumen 32(6), pp. 720-727

- Serdaroğlu, M., Öztürk, B., Urgu, M., 2016. Emulsion characteristics, chemical and textural properties of meat systems produced with double emulsions as beef fat replacers. *Meat Science*, Volumen 117, pp. 187-195.
- Singh, R., Malviya, R., Sharma, P.K., 2011. Extraction and Characterization of Tamarind Seed Polysaccharide as a Pharmaceutical Excipient. *Pharmacognosy Journal*, Volumen 3(20), pp. 17-19.
- Velázquez-Gutiérrez, S.K., Figueira, A.C., Rodríguez-Huezo, M.E., Román-Guerrero, A., Carrillo-Navas, H., Pérez-Alonso, C., 2015. Sorption isotherms, thermodynamic properties and glass transition temperature of mucilage extracted from chia seeds (*Salvia hispanica* L.). *Carbohydrate Polymers*, Volumen 121, pp. 411–419.
- Viebke, C., Al-Assaf, S., Phillips, G.O, 2014. Food hydrocolloids and health claims. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, Volumen 4(2), pp. 101-114.
- Wilson, B.A., Pollard R.D., Ferguson D.S., 2014. Nutritional Hazards: Macronutrients: Essential Fatty Acids, *Encyclopedia of Food Safety*, 95-102.
- Xu-Yan, D., Ping-Ping, L., Fang, W., Mu-lan, J., Ying-Zhong, Z., Guang-Ming, L., Yuan-Di, Z., 2012. The impact of processing on the profile of volatile compounds in sesame oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, Volumen 114(3), pp. 277-286.
- Coorey, R., Tjoe, A., Jayasena, V., 2014. Gelling properties of chia seed and flour. *Journal of Food Science*, Volumen 79(5), pp. E859-E866.
- Escalona-García, L.A., Pedroza-Islas, R., Natividad, R., Rodríguez-Huezo, M. E., Carrillo-Navas, H., Pérez-Alonso, C., 2016. Oxidation kinetics and thermodynamic analysis of chia oil microencapsulated in a whey protein concentrate-polysaccharide matrix. *Journal of Food Engineering*, Volumen 175, pp. 93-103.
- García-Cruz, E.E., Rodríguez-Ramírez, J., Lagunas, L.M., Medina-Torres, L., 2013. Rheological and physical properties of spray-dried mucilage obtained from *Hylocereus undatus* cladodes. *Carbohydrate polymers*, Volumen 91(1), pp. 394-402.

Jindal, M., Kumar, V., Rana, V., Tiwary, A.K., 2013. Exploring potential new gum source *Aegle marmelos* for food and pharmaceuticals: Physical, chemical and functional performance. *Industrial Crops and Products*, Volumen 45, pp. 312-318.

Khounvilay, K., Sittikijyothin, W., 2012. Rheological behaviour of tamarind seed gum in aqueous solutions. *Food Hydrocolloids*, Volumen 26(2), pp. 334-338.

Li, J.M., Nie, S.P., 2016. The functional and nutritional aspects of hydrocolloids in foods. *Food Hydrocolloids*, Volumen 53, 46-61.

Li, N., Qi, G., Sun, X.S., Wang, D., 2016. Characterization of gum isolated from *Camelina* seed. *Industrial Crops and Products*, Volumen 83, 268-274.

López-Franco, Y.L., Cervantes-Montañón, C.I., Martínez-Robinson, K.G., Lizardi-Mendoza, J., Robles-Ozuna, L.E., 2013. Physicochemical characterization and functional properties of galactomannans from mesquite seeds (*Prosopis spp.*). *Food Hydrocolloids*, Volumen 30(2), pp. 656-660.

Muzaffar, K., Kumar, P., 2015. Parameter optimization for spray drying of tamarind pulp using response surface methodology. *Powder Technology*, Volumen 279, pp. 179-184.

Peter, K.V. (Ed.). 2012. *Handbook of herbs and spices*. Elsevier. Second ed. Woodhead Publishing Series, Elsevier Science, pp. 512-533.

Sharma, M., Mondal, D., Mukesh, C., Prasad, K., 2014. Preparation of tamarind gum based soft ion gels having thixotropic properties. *Carbohydrate polymers*, Volumen 102, pp. 467-471.

Viebke, C., Al-Assaf, S., Phillips, G.O., 2014. Food hydrocolloids and health claims. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, Volumen 4(2), pp. 101-114.