



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

---

---

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

## CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE GOMA DE SEMILLA DE CHIRIMOYA (*Annona cherimola* Mill.)

### TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:  
MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

**Presenta:**

JAIRO OMAR RAMÍREZ ROJAS

**Bajo la supervisión de:**

DRA. CONSUELO SILVIA OLIVIA LOBATO CALLEROS



Chapingo, Estado de México, noviembre, 2020

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE GOMA DE SEMILLA DE CHIRIMOYA**  
(*Annona cherimola* Mill.)

Tesis realizada por **Jairo Omar Ramírez Rojas** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**AGROALIMENTARIA**

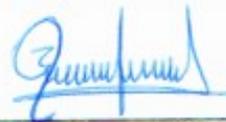
DIRECTORA:



\_\_\_\_\_

DRA. CONSUELO SILVIA OLIVIA LOBATO CALLEROS

ASESOR:



\_\_\_\_\_

M.C. DEYSI GÓMEZ MALDONADO

ASESOR:



\_\_\_\_\_

DRA. BLANCA ELIZABETH HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ

ASESOR:



\_\_\_\_\_

DR. FREDY MORALES TREJO

## CONTENIDO

LISTA DE CUADROS .....	v
LISTA DE FIGURAS .....	vi
AGRADECIMIENTOS .....	vii
DEDICATORIAS .....	viii
DATOS BIOGRÁFICOS.....	ix
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Origen y distribución.....	4
2.2 Producción nacional .....	5
2.3 Descripción botánica .....	5
2.3.1 Composición química del fruto de chirimoya .....	6
2.3.2 Semilla .....	7
2.4 Gomas vegetales .....	10
2.4.1 Gomas de semillas de plantas.....	11
2.5 Espectroscopía Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR) .....	12
2.6 Reología .....	13
2.7 Potencial zeta ( $\zeta$ ).....	14
2.8. Literatura citada.....	16
3. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE GOMA DE SEMILLA DE CHIRIMOYA ( <i>Annona cherimola</i> Mill.) .....	22
RESUMEN .....	22
ABSTRACT .....	23
3.1. INTRODUCCIÓN.....	24
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	25
3.2.1. Materiales .....	25
3.2.2. Caracterización del fruto de chirimoya.....	25
3.2.3. Obtención y caracterización de la harina de semilla de chirimoya (HSC) .....	26

3.2.4. Extracción de goma de semilla de chirimoya (GSC).....	26
3.2.5. Rendimiento de GSC.....	28
3.2.6. Análisis químico proximal .....	29
3.2.7. Color de la GSC.....	29
3.2.8. Solubilidad .....	29
3.2.9. Potencial zeta ( $\zeta$ ) .....	30
3.2.10. Diámetro hidrodinámico medio ( $d_h$ ).....	30
3.2.11. Calorimetría Diferencial de Barrido .....	30
3.2.12. Espectroscopía Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR).....	30
3.2.13. Comportamiento de flujo de la GSC .....	31
3.2.14. Análisis estadístico .....	32
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
3.3.1 Caracterización del fruto de chirimoya.....	32
3.3.2. Obtención y caracterización de la harina de semilla de chirimoya...	33
3.3.3. Composición química y rendimiento de la goma de semilla de chirimoya .....	34
3.3.4. Color de la GSC.....	35
3.3.5. Potencial $\zeta$ y tamaño de partícula .....	36
3.3.6. Solubilidad de la GSC.....	38
3.3.7. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).....	39
3.3.8. Espectroscopía Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR) .....	41
3.3.9. Comportamiento de flujo de dispersiones de goma de semilla de chirimoya .....	42
3.3.10. Conclusiones .....	50
3.3.11. Literatura citada .....	52

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Fuente y composición de monosacáridos de gomas vegetales exudadas. ....	2
<b>Cuadro 2.</b> Fuente y composición de monosacáridos de gomas vegetales de semillas /mucilagos. ....	2
<b>Cuadro 3.</b> Composición nutricional y valor energético (por 100 g de porción comestible en base húmeda) de la pulpa de cuatro cultivares de <i>Annona cherimola</i> Mill. ....	6
<b>Cuadro 4.</b> Variables biofísicas de frutos de chirimoya de los cultivares 'Campas', 'White' y 'Bonita'. ....	7
<b>Cuadro 5.</b> Contenidos de aceite y ácidos grasos (g/100 g de EMAG) en semillas de los cultivares de chirimoya "Fino de Jinete" y "Campa". ....	8
<b>Cuadro 6.</b> Fuente y composición de monosacáridos de gomas de semillas/mucilagos. ....	11
<b>Cuadro 7.</b> Composición del fruto de chirimoya ( <i>Annona cherimola</i> Mill.) ....	32
<b>Cuadro 8.</b> Composición química de harina de semilla de chirimoya sin desengrasar (HSC) y desengrasada (HSCD). ....	33
<b>Cuadro 9.</b> Rendimiento y composición química de la goma de semilla de chirimoya (base seca). ....	34
<b>Cuadro 10.</b> Parámetros de color de la goma de semilla de chirimoya. ....	35
<b>Cuadro 11.</b> Características fisicoquímicas de la goma de semilla de chirimoya como función del pH. ....	37
<b>Cuadro 12.</b> Resumen del comportamiento térmico de la goma de semilla de chirimoya. ....	40
<b>Cuadro 13.</b> Parámetros de Herschel-Bulkley para dispersiones de GSC a diferente concentración de goma (0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 % p/p), diferente valor de pH (3, 5, 7 y 9) y diferente concentración de sacarosa (2.5, 5.0, 10.0 y 20.0 % p/v). ....	49

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Capa difusa.....	14
<b>Figura 2.</b> Proceso de extracción de la goma de semilla de chirimoya (GSC). .	28
<b>Figura 3.</b> Coordenadas CIEL*a*b* de la goma de semilla de chirimoya .....	36
<b>Figura 4.</b> Goma de semilla de chirimoya pulverizada.....	36
<b>Figura 5.</b> Termograma de goma de semilla de chirimoya (GSC). .....	40
<b>Figura 6.</b> Espectro FTIR de la goma de semilla de chirimoya (GSC) en la región espectral entre 4000 y 700 $\text{cm}^{-1}$ .....	42
<b>Figura 7.</b> Vórtices de Taylor para el flujo entre dos cilindros concéntricos. (a) vórtices de Taylor; (b) vórtices de Taylor ondulados; y (c) vórtices de Taylor turbulentos (Creado por H. Cen).....	43
<b>Figura 8.</b> Viscosidad aparente-tasa de corte como función de la concentración de goma de semilla de chirimoya (GSC) a 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 % p/p, pH 7 y $20 \pm 2$ °C.....	43
<b>Figura 9.</b> Micrografías ópticas de dispersiones de goma de semilla de chirimoya (GSC) a 0.5 (a), 1.0 (b), 1.5 (c) y 2.0 % p/p (d).....	44
<b>Figura 10.</b> Dependencia de la viscosidad aparente-tasa de corte de dispersiones de goma de chirimoya (GSC) a 1.0 % p/p a valores de pH de 3, 5, 7 y 9 y $20 \pm 2$ °C.....	45
<b>Figura 11.</b> Micrografías ópticas de dispersiones de goma de semilla de chirimoya (GSC) al 1.0 % p/p a valores de pH 3 (a), 5 (b), 7 (c) y 9 (d). .....	45
<b>Figura 12.</b> Viscosidad aparente-tasa de corte de dispersiones de goma de semilla de chirimoya a 1.0 % p/p en función de la concentración de sacarosa a 2.5, 5.0, 10.0 % p/v, pH 7 y $20 \pm 2$ °C.....	47
<b>Figura 13.</b> Micrografías ópticas de dispersiones de goma de semilla de chirimoya (GSC) a 1.0 % p/p, concentración de sacarosa de 2.5 (a), 5.0 (b), 10.0 (c) y 20.0 % p/v (d).....	47

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento otorgado para la realización de mis estudios de posgrado.

A la Universidad Autónoma Chapingo, al Departamento de Ingeniería Agroindustrial y al Departamento de Preparatoria Agrícola por las facilidades brindadas para la realización de esta investigación.

Al Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, por la oportunidad de pertenecer a la 17<sup>va</sup> generación de Maestría y por todos los conocimientos adquiridos durante mi estancia.

A la Dra. Consuelo S. O. Lobato Calleros, por su apoyo en la dirección de este proyecto de investigación, por todo el apoyo recibido, paciencia y ser ejemplo de dedicación.

A mis asesores: Dra. Blanca E. Hernández Rodríguez, Dra. Deysi Gómez Maldonado y al Dr. Fredy Morales Trejo, por su orientación, acertadas opiniones y sugerencias para elaborar correctamente este trabajo de investigación.

A mis compañeros de la XVII generación de la MCyTA, especialmente a Rosa Laura, Valeria y Karla por los gratos momentos de aprendizaje que, sin duda, ayudaron a hacer más amena mi estancia.

A todos mis compañeros del Laboratorio de Tecnología de Alimentos, del Departamento de Preparatoria Agrícola por su apoyo y consejos, especialmente a Sinaí, Itzel, Diana, Juan y Vianney con quienes compartí muchas experiencias y horas de trabajo.

A mi familia: Ramírez Rojas, por su apoyo incondicional.

## DEDICATORIAS

“Por la mañana hazme saber de tu gran amor, porque en ti he puesto mi confianza; señálame el camino que debo seguir, porque a ti elevo mi alma”

A mi familia, quienes han sido la partida de mis aprendizajes y conocimientos, por su apoyo y amor incondicional. En especial a mi tía Luz María Campos Rodríguez† que, a pesar de no poder estar presente en la culminación de esta etapa, este logro también es gracias a ti.

A mis papás: María Dolores Rojas González y J. Nieves Ramírez García, a mis hermanos: Christian, Alejandro y Mauricio quienes son mi motor y fortaleza, mi mayor tesoro y las personas que más amo. Gracias por estar siempre a mi lado.

A Diego Armando Dolores Cantú, por el apoyo, comprensión y cariño en esta etapa de mi vida.

A mis amigos, en especial Dalia Luna, René Flores, Ricardo Chávez, Yetcemani Rodríguez y Raúl Caratachea, por estar presentes siempre.

Y a todas aquellas personas que forman parte de mi vida, quienes me alientan a continuar, demuestran su gran cariño y que de la misma manera deseaban este logro para mí.

Sinceramente, JORR

## **DATOS BIOGRÁFICOS**

### **Datos personales**

Nombre: Jairo Omar Ramírez Rojas

Fecha de nacimiento: 15 de abril de 1995

Lugar de nacimiento: Celaya, Guanajuato

No. Cartilla militar D-3086661

CURP: RARJ950415HGTMJR05

Profesión: Ingeniero Agroindustrial

Cédula profesional: 11529842

### **Desarrollo académico**

Preparatoria Universidad Autónoma Chapingo

Licenciatura Universidad Autónoma Chapingo

## 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) es un árbol nativo de Mesoamérica (Cerdas-Araya et al., 2007), cuyo nombre se deriva de “chirimuya” que en quechua significa “semilla fría”, esto se refiere a la región andina donde está presente esta especie. La chirimoya se distribuye en zonas subtropicales con una precipitación anual entre 600 y 1700 mm. Para un óptimo desarrollo, las temperaturas deben mostrar poca fluctuación anual y la temperatura media anual debe oscilar entre 17 y 22°C, la planta se adapta mejor a suelos arenosos o arcillo-arenosos, bien drenados con un pH entre 6.5 y 7.6 y con un contenido de materia orgánica entre 1.7 y 2.7 % (Biodiversity International, 2008).

Los países productores de chirimoya más importantes a nivel mundial son: España, Chile, Perú, Bélgica, Austria, Bolivia, Ecuador, México y Estados Unidos (Biodiversity International, 2008). En México, del árbol de chirimoya, se aprovecha principalmente el fruto. Del fruto se obtiene la pulpa, la cual se emplea para la elaboración de helados, batidos de leche o sorbetes y también se procesa en forma de yogur, flan, jugos y vinos. Además, el jugo obtenido de este fruto posee alta actividad antioxidante (Gupta-Elera et al., 2011). La semilla de chirimoya es un subproducto derivado de la obtención de la pulpa. En otros países, se ha utilizado triturada como bioinsecticida (Ochoa et al., 2012) debido a las acetogeninas presentes en estas semillas, pues se ha evidenciado que poseen algunas propiedades farmacológicas (Biodiversity International, 2008, García-Aguirre et al., 2006).

A las gomas obtenidas de plantas, ya sea después del proceso de exudación natural o empleando la extracción de tejidos de diferentes partes botánicas se les denomina gomas vegetales (Petrea et al., 2013). Químicamente, las gomas son polisacáridos en los que diferentes unidades de monosacáridos se unen a través de enlaces glucosídicos (Izydorczyk et al., 2005); éstas se han distinguido en dos categorías: exudados y gomas no exudadas. Los Cuadros 1 y 2 dan una breve descripción de las fuentes de diferentes exudados y semillas/mucílagos, respectivamente.

**Cuadro 1.** Fuente y composición de monosacáridos de gomas vegetales exudadas.

Goma	Fuente	Composición de monosacáridos	Referencia
Acacia	<i>Acacia senegal</i> y <i>Acacia mearnsii</i>	Galactopiranosilo, glucopiranosilo, ramnopiranosilo, arabinosilo y unidades de ácido urónico.	Grein et al. (2013); Izydorczyk et al. (2005).
Karayay	<i>Sterculia urens</i>	Galactopiranosilo y ramnopiranosilo con grupos acetilo y unidades de ácido urónico.	Ibrahim et al. (2010); Stephen y Churns (1995).
Durazno	<i>Prunus persica</i>	Arabinogalactano, galactopiranosilo, xilopiranosilo, manopiranosilo y unidades de ácido urónico.	Simas-Tosin et al. (2013).

**Cuadro 2.** Fuente y composición de monosacáridos de gomas vegetales de semillas /mucilagos.

Goma	Fuente	Composición de monosacáridos	Referencia
Guar	<i>Cyamopsis tetragonolobus</i> y <i>C. psoraloids</i>	Unidades de manopiranosilo y galactopiranosilo (relación 2: 1)	Reid (1985).
Semilla de mezquite	<i>Prosopis flexuosa</i> , <i>Prosopis africana</i> y <i>Prosopis juliflora</i>	Galactopiranosilo y manopiranosilo en una cadena principal (relación 2: 1) unida con unidades de arabinosilo, ramnopiranosilo, glucuronosilo y metilglucuronosilo	Achi y Okolo (2010); Ibáñez y Ferrero (2003); Rincón et al. (2014).
Tamarindo	<i>Tamarindus indica</i>	Glucosilo: xilosilo: galactosilo (relación 3:2:1)	Crispín-Isidro et al. (2019); Gerard (1980).
Semilla de guanábana	<i>Annona muricata</i>	Galactosilo	Torres et al. (2013).

Las gomas vegetales de uso generalizado son los galactomananos de semillas de guar y algarrobo europeo, los exudados de acacia y karayay, goma arábica y tragacanto, las de las algas, carragenanos y alginatos. Todas ellas son conocidas por sus aplicaciones tecnológico-alimentarias en todo el mundo (Hamdani et al., 2019).

Las gomas de semillas de plantas (GSP) se han estudiado recientemente por sus características como biopolímeros emergentes, propiedades funcionales (espesante, ligante de agua, gelificante, estabilizante y emulsionante) y sus aplicaciones potenciales en las industrias farmacéutica y alimentaria (Archana et al., 2013; Soukoulis et al., 2018). Además, las GSP son ampliamente disponibles, no tóxicas y biodegradables (Avachat et al., 2011). De esta manera, las semillas de plantas procedentes de las industrias de procesamiento agroalimentario son una fuente interesante y económica de gomas con una amplia variedad de funciones útiles para la manufactura de productos de valor añadido (Chandra et al., 2018; Ravindran y Jaiswal, 2016).

La demanda de alimentos naturales por parte de los consumidores ha incentivado la búsqueda de fuentes alternativas de gomas alimenticias, una de esas fuentes puede ser las semillas; las gomas así obtenidas deben ser caracterizadas para determinar sus posibles aplicaciones. En este contexto, los objetivos del presente trabajo fueron establecer la metodología de extracción de la goma contenida en la semilla de chirimoya; determinar el rendimiento, composición química proximal, propiedades físicas (color, potencial  $\zeta$ , tamaño de partícula, solubilidad y viscosidad); analizar el espectro infrarrojo para determinar los grupos funcionales y medir las propiedades calorimétricas para de esta forma contribuir a la caracterización de la goma de semilla de chirimoya y al aprovechamiento de un desecho agroindustrial de interés para aplicaciones en el sector alimentario.

El documento consta de 3 capítulos: el primer capítulo presenta una introducción general acerca de la importancia de gomas vegetales, en particular de aquellas extraídas de semillas; el segundo capítulo ofrece el estado del arte acerca de la semilla de chirimoya; finalmente, el tercer capítulo está conformado por un

artículo científico en el cual se detalla la caracterización fisicoquímica de la goma extraída de semilla de chirimoya.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Origen y distribución

La chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) pertenece a la familia de las anonáceas, cuya familia es importante desde el punto de vista evolutivo y económico. La familia *Annonaceae* cuenta con 130 géneros y 2,300 especies reconocidas alrededor del mundo (Quílez et al., 2018), es la más sobresaliente dentro del orden Magnoliales, la cual se encuentra entre las angiospermas más primitivas. Cerca de 900 especies son neotropicales, 450 son afrotropicales y las otras especies son de la región indomalaya (Monroy y Marroquín, 2008). Entre las especies de la familia *Annonaceae* se incluyen árboles, arbustos y lianas distribuidas ampliamente en bosques tropicales del mundo (Couvreur et al., 2012). Los únicos géneros de las anonáceas que presentan especies con frutos comestibles son: *Annona*, *Rollinia*, *Uvaria* y *Asimina* (Chatrou, 1999). El género *Annona* L. está constituido por alrededor de 110 especies de América tropical y subtropical, de las cuales 15 se encuentran en México, presentando así un potencial agronómico alto (Hernández-Fuentes et al., 2016). Las especies comestibles con gran aceptación en los mercados regionales e internacionales incluyen la guanábana (*Annona muricata* L.), saramuyo (*A. squamosa* L.), annona (*A. reticulata* L.), ilama (*A. diversifolia* Safford), chirimoya (*A. cherimola* Mill.) y atemoya (*A. cherimola* x *A. squamosa*) (Elías y Cruz-Castillo, 2002). La chirimoya es la única especie del género *Annona* que se desarrolla en los subtrópicos. Su origen se ubica probablemente en el sur de Ecuador y norte de Perú (Lizana y Reginato, 1990). El cultivo de esta especie actualmente se ha extendido a América Central, México y las Antillas, Francia, Brasil, Italia, India, Israel, Filipinas, Egipto, entre otras regiones de clima subtropical (Andrés y Segura, 2014).

Las especies que actualmente se cultivan de forma comercial en México son *A. cherimola* y *A. muricata*, la primera en el Estado de México, Guanajuato, Michoacán y Morelos; y la segunda en Veracruz, Tabasco, Nayarit, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas. A nivel local, muchas especies son utilizadas por su pulpa comestible, aroma, propiedades medicinales o en cercos vivos. El uso de los recursos genéticos de las anonáceas es amplio y variado, abarca desde el consumo de frutos en fresco, extracción de pulpa para jugos, yogures, helados y postres, hasta la extracción de activos con propiedades medicinales y antihelmínticas (Hernández-Fuentes et al., 2016).

## **2.2 Producción nacional**

Las especies de *Annona* que sobresalen en las estadísticas de producción más importantes son la guanábana, la chirimoya y el saramuyo. De acuerdo con estadísticas del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) en 2019, la producción registrada de chirimoya fue de 247.3 t, en 36 ha sembradas entre Morelos y Michoacán, con un valor de 1, 801, 080 pesos; cabe mencionar que Michoacán produjo el 63.32 % de la producción total.

## **2.3 Descripción botánica**

El nombre chirimoya deriva del quechua “chirimoya” que significa semillas frías (Bonavia et al., 2004). El árbol de chirimoya es pequeño, erguido, caducifolio y puede alcanzar una altura de hasta 8 m. Tiene hojas simples, enteras, dispuestas alternadamente y de formas ovaladas, lanceoladas o elípticas de 10 a 25 cm de largo, glabras en la superficie ventral y pubescente dorsalmente (Manica, 1997). La parte que más se aprovecha del árbol es el fruto (infrutescencia), el cual es denominado como polidrupa o sincarpo con los carpelos dispuestos en espiral que se unen después de la fructificación. Cada uno de los frutos contiene una única semilla dura de color negro en forma de frijol. El fruto es cónico o en forma de corazón, alcanza entre 10 y 25 cm de longitud y hasta un máximo de 15 cm de anchura, con un peso promedio que oscila entre 250 a 800 g. Cuando el fruto alcanza la madurez se torna de un color verde-amarillo; se considera que está demasiado maduro cuando la cáscara adquiere un tono marrón oscuro o negro.

La piel del fruto es fina y delicada, puede ser delgada o gruesa, suave, con marcas que se asemejan a huellas dactilares, o estar cubierta de protuberancias de forma cónica o redondeada que corresponden con la zona de unión de los carpelos (Van Damme y Scheldeman, 2013). La pulpa puede ser de color blanco o amarillo crema, ligeramente ácida y fragante; posee una textura carnosa, blanda, cremosa, moderadamente jugosa, tiene un agradable y delicado sabor. El fruto compuesto contiene numerosas semillas, una por drupa (21 a 41 por infrutescencia) y llegan a medir aproximadamente entre 1.5 a 2.0 cm de longitud y 1.0 cm de ancho (Cautín, 1998).

### 2.3.1 Composición química del fruto de chirimoya

La chirimoya es una buena fuente de vitaminas B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> y B<sub>3</sub>, hierro, calcio y fósforo; se consume principalmente como fruta fresca y se usa en la elaboración de helados, batidos de leche o sorbetes. También, el fruto se procesa en forma de yogur, flan, jugos y vinos. Las semillas trituradas se pueden usar como bioinsecticidas y las acetogeninas presentes en estas semillas poseen algunas propiedades farmacológicas (Biodiversity International, 2008). Además, el jugo obtenido de esta fruta presenta una elevada actividad antioxidante (Gupta-Elera et al., 2011).

Albuquerque et al. (2016) determinaron la composición nutricional de la pulpa de cuatro cultivares de chirimoya (Cuadro 3). También, se han cuantificado los fenoles totales de pulpa de chirimoya (*Annona cherimolia*) en extractos orgánicos polares como acetona: agua y metanol: agua (Vasco et al., 2008).

**Cuadro 3.** Composición nutricional y valor energético (por 100 g de porción comestible en base húmeda) de la pulpa de cuatro cultivares de *Annona cherimolia* Mill.

Componentes		Cultivares			
		Funchal	Madeira	Mateus II	Perry Vidal
Energía (kJ (kcal))		376 (89)	429 (102)	378 (89)	345 (81)

Humedad (g)	76.1 ± 0.9	71.5 ± 0.0	75.9 ± 0.3	78.3 ± 0.1
Cenizas (g)	0.372 ± 0.0	0.556 ± 0.0	0.547 ± 0.0	0.510 ± 0.0
Proteína total (g) (NCF = 6.25)	1.96 ± 0.0	1.48 ± 0.1	1.78 ± 0.0	1.36 ± 0.0
Grasa total (g)	0.176 ± 0.0	0.103 ± 0.0	0.133 ± 0.0	0.156 ± 0.0
Carbohidratos disponibles (g)	18.2 ± 0.9	21.1 ± 0.2	18.8 ± 0.4	17.6 ± 0.1
Fibra dietaria total (g)	3.21 ± 0.1	5.32 ± 0.2	2.84 ± 0.1	2.09 ± 0.0

Los valores son medias de tres muestras ± desviación estándar. NCF: Factor de conversión de nitrógeno.

Apolonio et al. (2015) evaluaron variables biofísicas, entre las se encuentran los porcentajes correspondientes a los distintos componentes del fruto de chirimoya de los cultivares 'Campas', 'White' y 'Bonita' (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Variables biofísicas de frutos de chirimoya de los cultivares 'Campas', 'White' y 'Bonita'.

Cultivar	Peso fruto (g)	Pulpa (%)	Cáscara (%)	Semilla (%)
Campas	600.03	93.70	1.97	4.33
White	400.21	83.75	10.42	5.83
Bonita	461.12	79.02	12.24	8.74

### 2.3.2 Semilla

La especie *Annona cherimola* de la familia *Annonaceae* se caracteriza por la presencia de numerosas sustancias bioactivas de diversa naturaleza química en hojas, raíz, frutos y semillas (García-Barraga, 1974). Leboeuf et al. (1982) mencionan que las semillas contienen triacilglicerol formados por ácidos

grasos saturados e insaturados; los más característicos son: ácido linoleico, ácido oleico y ácido esteárico, entre otros.

García-Salas et al. (2016) determinaron la composición en ácidos grasos del aceite de las semillas de dos principales cultivares de chirimoya cultivados en Andalucía, España (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Contenidos de aceite y ácidos grasos (g/100 g de EMAG) en semillas de los cultivares de chirimoya "Fino de Jinete" y "Campa".

	Cultivar	
	Fino de Jinete	Campa
Contenido de aceite	15.12	24.20
C12:0	0.02 ± 00	0.02 ± 0.00
C14:0	0.05 ± 00	0.04 ± 0.00
C15:0	0.03 ± 0.00	0.02 ± 0.00
C16:0	15.67 ± 0.01	12.90 ± 0.01
cis-C16:1	0.14 ± 0.01	0.10 ± 0.00
C17:0	0.23 ± 0.00	0.12 ± 0.01
cis-C17:1	0.09 ± 0.00	0.04 ± 0.00
C18:0	4.41 ± 0.01	4.23 ± 0.00
cis-9-C18:1	32.48 ± 0.03	44.93 ± 0.01
cis-11-C18:1	n.d.	n.d.
C18:2n-6	43.72 ± 0.02	35.20 ± 0.02
C18:3n-6	0.120 ± 0.005	0.073 ±
C18:3n-3	2.02 ± 0.00	1.25 ± 0.01

C20:0	0.49 ± 0.00	0.47 ± 0.00
C20:1	0.21 ± 0.00	0.27 ± 0.01
C20:2	0.02 ± 0.00	0.01 ± 0.00
C22:0	0.16 ± 0.00	0.16 ± 0.00
C22:2	0.03 ± 0.00	0.02 ± 0.00
C24:0	0.14 ± 0.00	0.13 ± 0.00
AGS	21.18 ± 0.00	18.10 ± 0.02
AGMI	32.92 ± 0.03	45.34 ± 0.01
AGPI	45.90 ± 0.03	36.56 ± 0.01
AGI	78.82 ± 0.00	81.90 ± 0.02
AGS/AGI	0.27 ± 0.00	0.22 ± 0.00
n-3	2.02 ± 0.00	1.25 ± 0.00
n-6	43.84 ± 0.03	35.28 ± 0.01

---

Los valores son medias de tres muestras ± desviación estándar. EMAG: esteres metílicos de ácidos grasos; AGS: ácido graso saturado; AGMI: ácido graso monoinsaturado; AGPI: ácido graso poliinsaturado; AGI: ácido graso insaturado; n.d.: no disponible.

Ríos et al. (1989) afirman que los aceites y otros extractos etanólicos y metanólicos de la chirimoya (hojas, tallos, raíces y semillas) contienen trazas de acetogeninas de reconocida citotoxicidad, que le confieren propiedades importantes e interés a esta familia botánica. Estudios recientes reportan hasta 22 compuestos polares en la semilla, encontrándose en mayor cantidad ácido cítrico, hexóxido de ácido vainílico y glucopiranósido de ácido sirínico (García-Salas et al., 2015), a los cuales se atribuyen las siguientes propiedades:

- Ácido cítrico: aditivo alimentario usado como conservador, antioxidante, acidulante y saborizante de alimentos, además es ampliamente usado en medicamentos (Muñoz-Villa et al., 2014).
- Dentro de los ácidos fenólicos se encuentran el ácido vainílico, usado como copigmento de antocianinas (Ariza-Flores et al., 2014); y el ácido siríngico que funge como estabilizante fitoquímico (Pacheco-Palencia et al., 2008); además de las funcionalidades ya mencionadas, ambos compuestos se encuentran dentro de los ácidos fenólicos, caracterizados por su potencial antioxidante asociado con la disminución del riesgo de enfermedades cardiovasculares (D' Archivio et al., 2007; Rechner et al., 2002) y cáncer (Gong et al., 2019; Srinivasulu et al., 2018). Sin embargo, no se han extraído ni cuantificado en la goma contenida en la semilla.

## **2.4 Gomas vegetales**

A las gomas obtenidas de plantas, ya sea después del proceso de exudación natural o empleando la extracción de tejidos de diferentes partes botánicas se les denominan gomas vegetales (Petrea et al., 2013). Químicamente, las gomas son polisacáridos compuestos por diferentes unidades de monosacáridos unidas por enlaces glucosídicos (Izydorczyk et al., 2005).

El uso de las gomas en la industria alimentaria es muy extenso: helados, confitería, jugos de fruta, cerveza, vinos, quesos, mermeladas, aderezos, embutidos, productos dietéticos, entre otros. En cada caso, las gomas desempeñan un papel muy característico, gracias a las propiedades funcionales que desarrollan; estas últimas dependen de diversos factores como la concentración de la goma, las sales minerales en el medio, el pH, el uso individual o combinado de gomas (Badui, 2006).

Las gomas vegetales de uso generalizado son los galactomananos de semillas de guar y algarrobo europeo, los exudados de acacia y karayay, goma arábica y tragacanto, las de las algas, carragenanos y alginatos. Todas ellas conocidas por

sus aplicaciones tecnológico-alimentarias en todo el mundo (Hamdani et al., 2019).

#### 2.4.1 Gomas de semillas de plantas

Las gomas de semillas de plantas (GSP) han recibido recientemente gran atención como biopolímeros emergentes (Cuadro 6) debido a sus propiedades funcionales (espesante, ligante de agua, gelificante, estabilizante y emulsificante) y a su potencial de aplicación en las industrias farmacéutica y alimentaria (Archana et al., 2013; Soukoulis et al., 2018).

**Cuadro 6.** Fuente y composición de monosacáridos de gomas de semillas/mucílagos.

Goma	Fuente	Composición de monosacáridos	Referencia
Guar	<i>Cyamopsis tetragonolobus</i> y <i>C. psoraloids</i>	Unidades de manopiranosilo galactopiranosilo (proporción 2: 1)	de y (en Reid (1985)
Semilla de mezquite	<i>Prosopis flexuosa</i> , <i>Prosopis africana</i> y <i>Prosopis juliflora</i>	Galactopiranosilo manopiranosilo en una cadena principal (relación 2: 1) unida con unidades de arabinosilo, ramnopiranosilo, glucuronosilo y metilglucuronosilo	y Rincón et al., (2014); Achi y Okolo (2010); Ibáñez y Ferrero (2003)
Tamarindo	<i>Tamarindus indica</i>	Glucosilo: galactosilo (relación 3:2:1)	xilosilo: Gerard (1980); Crispín-Isidro et al., (2019)
Semilla de guanábana	<i>Annona muricata</i>	Galactosilo	Torres et al., (2013)

Además, las GSP son ampliamente disponibles, no tóxicas, biodegradables y biocompatibles (Avachat et al., 2011). Las semillas de plantas procedentes de las industrias de procesamiento agroalimentario son una fuente interesante y económica de gomas con una amplia variedad de funciones útiles para la

manufactura de productos de valor añadido (Chandra et al., 2018; Ravindran y Jaiswal, 2016).

Recientemente, la demanda de alimentos naturales por parte de los consumidores ha incentivado la búsqueda de fuentes alternativas de gomas alimenticias, una de esas fuentes puede ser las semillas. Para determinar sus posibles aplicaciones, las gomas obtenidas deben ser caracterizadas empleando diversos análisis, entre los que se encuentran los expuestos a continuación.

### **2.5 Espectroscopía Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR)**

La Espectroscopía Infrarroja, también conocida como FTIR (del inglés, Fourier Transform Infra-Red) o simplemente IR, estudia los fenómenos de interacción entre la radiación de origen infrarrojo y la materia. Esencialmente la energía de la radiación, localizada en determinada longitud de onda del infrarrojo ( $10$  a  $13,000\text{ cm}^{-1}$ ), es absorbida por una molécula (o parte de ella) que se encuentra vibrando en su estado basal a la misma longitud de onda que la radiación infrarroja incidente (modos normales vibracionales), provocando con ello un cambio en la intensidad de la vibración (Mondragón, 2017; Piqué y Vázquez, 2012).

La región del espectro situada entre  $4000$  y  $1400\text{ cm}^{-1}$ , es de gran utilidad para la identificación de la mayoría de los grupos funcionales presentes en las moléculas orgánicas; las absorciones que aparecen en esta zona provienen fundamentalmente de las vibraciones de estiramiento. La zona situada entre  $1400$  y  $600\text{ cm}^{-1}$ , es por lo general, compleja, debido a que en ella aparecen una combinación de vibraciones de alargamiento, así como de flexión. Cada compuesto tiene una absorción característica en esta región, por esta razón a esta parte del espectro se le denomina región de las huellas dactilares (Mondragón, 2017).

## 2.6 Reología

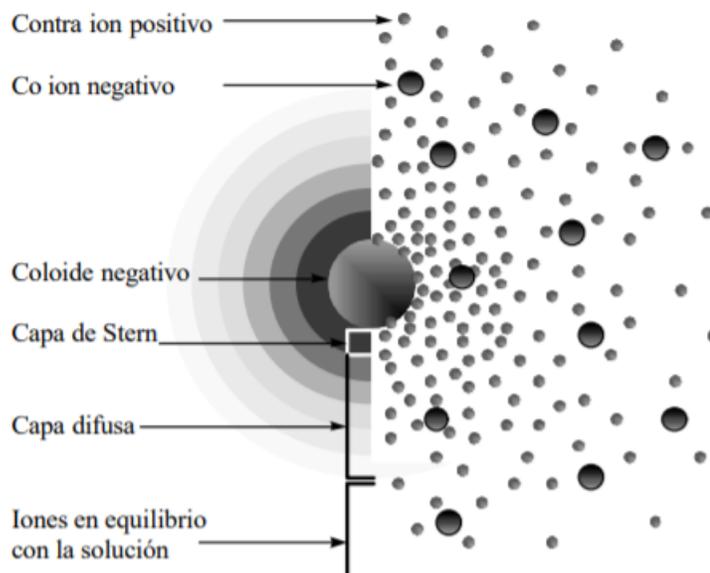
La Reología es el estudio de la deformación y flujo de materias primas, productos intermedios y productos terminados (Shoemaker et al.,1987); visto de otra manera, es el estudio en el cual los materiales reaccionan al aplicarles un esfuerzo determinado (Steffe, 1996). Las propiedades reológicas de los materiales están íntimamente relacionadas con las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los constituyentes de un sistema alimenticio, así como las variables de operación que se aplican en las diferentes etapas del proceso (Bourne, 1978). La información textural y reológica es importante en el diseño de procesos de transformación en alimentos (mezclado, flujo de materiales, calentamiento, enfriamiento), en la determinación de la funcionalidad de los ingredientes para el desarrollo de productos, en el control de calidad de productos intermedios y finales, en pruebas de tiempo de vida útil y en evaluaciones de propiedades texturales correlacionadas con pruebas sensoriales, entre otros (Steffe, 1996).

Rao (2007) menciona que los instrumentos comunes capaces de realizar mediciones de propiedades reológicas de alimentos fluidos y semisólidos pueden ser ubicados dentro de dos categorías generales: rotacionales y de tipo tubo. Únicamente los reómetros pueden ser utilizados para evaluar los cambios en las propiedades reológicas de los materiales sometidos a diferentes esfuerzos. Los instrumentos de tipo rotacional pueden ser operados en un modo de corte estacional u oscilatorio (Steffe, 1996).

Una gran cantidad de fluidos, casi todos de interés industrial, presentan desviaciones de la Ley de Newton al ser su viscosidad una función de la velocidad de cizalla aplicada; la diferencia básica entre el comportamiento Newtoniano y el no Newtoniano es la longitud de la molécula del fluido, de forma que aquellos fluidos con moléculas de pequeño tamaño (agua, metanol, etanol, etc.) presentan un comportamiento Newtoniano en contraposición de aquellos (disoluciones de polímeros, polímeros fundidos, etc.) que poseen moléculas de mayor tamaño (Ramírez, 2006).

## 2.7 Potencial zeta ( $\zeta$ )

El potencial zeta es una propiedad de los materiales que mide el potencial electrocinético en sistemas coloidales y se denota generalmente con la letra griega zeta ( $\zeta$ ). Desde un punto de vista físico, el potencial zeta es el potencial eléctrico en la doble capa interfacial; es decir, el punto donde se unen la capa difusa y la de Stern (Figura 1); asimismo, el potencial zeta es la diferencia de potencial entre el medio de dispersión y la capa estacionaria unido a la partícula dispersada (Hunter, 1989; Kralchevsky et al., 2003). Hunter (1988) menciona que la importancia del potencial zeta radica en que su valor puede estar relacionado con la estabilidad de las dispersiones coloidales, en otras palabras, el potencial  $\zeta$  indica el grado de repulsión entre partículas adyacentes cargadas en una dispersión.



**Figura 1.** Capa difusa.

Para las moléculas y partículas que son lo suficientemente pequeñas, un alto potencial zeta le confiere estabilidad, es decir, la solución o dispersión se resistirá a la agregación (Hunter, 1988). Cuando el potencial es bajo, se tiene atracción entre las partículas, se supera a la repulsión y se forman flóculos. Por lo tanto,

los coloides de alto potencial zeta se estabilizan eléctricamente, mientras que, los coloides con bajos potenciales zeta tienden a coagular o flocular (Brian et al., 2004). Lopes et al. (1999) mencionan que la estabilidad de las dispersiones depende también del balance entre las cargas electrostáticas repulsivas entre las partículas coloidales y las fuerzas de atracción de van der Waals.

## 2.8. Literatura citada

- Achi, O. K. & Okolo, N. I. (2010). The chemical composition and some physical properties of a water-soluble gum from *Prosopis africana* seeds. *International Journal of Food Science & Technology*, 39 (4), 431-436. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.00801.x>
- Albuquerque, T. G., Santos, F., Sanches-Silva, A., Beatriz Oliveira, M., Bento, A. C., & Costa, H. S. (2016). Nutritional and phytochemical composition of *Annona cherimola* Mill. fruits and by-products: Potential health benefits. *Food Chemistry*, 193, 187-195. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.044>
- Andrés, J. & Segura, S. D. (2014). Conservación y uso de los recursos genéticos de *Annonaceae* en México. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36, 118-124. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452014000500014>
- Apolonio, I., Castañeda, A., Franco, O., Morales, E. J. & González, A. (2015). Influencia de la fuente de polen y su efectividad en la calidad de frutos de chirimoya (*Annona cherimola* Mill.), *Agronomía Costarricense*, 39 (1), 61-69.
- Archana, G., Sabina, K., Babuskin, S., Radhakrishnan, K., Fayidh, M. A. & Saravana, P. A. (2013). Preparation and characterization of mucilage polysaccharide for biomedical applications. *Carbohydrate Polymers*, 98, 89-94. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.04.062>
- Ariza-Flores, R., Serrano-Altamirano, V., Navarro-Galindo, S., Ovando-Cruz, M. E., Vázquez-García, E., Barrios-Ayala, A., Michel-Aveces, A., Guzmán-Maldonado, S. H. & Otero-Sánchez, M. A. (2014). Variedades mexicanas de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) 'Alma Blanca' y 'Rosalíz' de color claro, y 'Cotzaltzin' y 'Tecoanapa' de color rojo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37 (2), 181-185.
- Avachat, A.M., Dash, R. R. & Shrotriya, S. N. (2011). Recent investigations of plant based natural gums and mucilages in novel drug delivery systems. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, 45, 86-89.
- Badui, S. (2006). Química de los alimentos. Estado de México, México: Pearson Educación.
- Biodiversity International. (2008). Descriptores para chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.). Roma, Italia: Biodiversity International.
- Bonavia, D., Ochoa, C. M., Tovar, S. O. & Palomino, R. C. (2004). Archaeological evidence of chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) and guanabana (*Annona muricata* L.) in ancient Peru. *Economic Botany*, 58, 509-522. [https://doi.org/10.1663 / 0013-0001 \(2004\) 058 \[0509: AEOCAC\] 2.0.CO; 2](https://doi.org/10.1663 / 0013-0001 (2004) 058 [0509: AEOCAC] 2.0.CO; 2)
- Bourne, M. C. (1978). Texture profile analysis. *Food Technology*, 32 (7), 62-66.

- Brian, J., Kirby, E. F. & Hasselbrink J. (2004). Zeta potential of microfluidic substrates: 1. Theory experimental techniques, and effects on separations. *Electrophoresis*, 25, 187-202. <https://doi.org/10.1002/elps.200305754>
- Cautín, R. (1998, 17-19 octubre). Floración y polinización [Curso de producción de chirimoyas]. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. La Serena, Chile.
- Cerdas-Araya, M. M., Umaña-Rojas, G. & Castro-Retana, J. J. (2007). Manual de manejo postcosecha de anona (*Annona cherimola* Mill.). San José, Costa Rica: MAG.
- Chandra, C., Harini, B., Vajiha, B., Lalitha, U., Maria, P., Babuskin, S., Karthikeyan, M. & Sukumar, M. (2018). Extraction and characterization of polysaccharides from tamarind seeds, rice mill residue, okra waste and sugarcane bagasse for its biothermoplastic properties. *Carbohydrate Polymers*, 186, 394-401. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.01.057>
- Chatrou, L. W. (1999). The *Annonaceae* and the *Annonaceae* Project: A Brief Overview of The State Of Affairs. *Acta Horticulturae*, 497,43-49.
- Couvreur, T. L. P., Maas, P. J. M., Meinke, D. M. S., Johnson & Kebler, P. J. A. (2012). Keys to the genera of *Annonaceae*. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 169, 74-83.
- Crispín-Isidro G., Hernández-Rodríguez, L., Ramírez-Santiago, C., Sandoval-Castilla, O., Lobato-Calleros, C. & Vernon-Carter, E. J. (2019). Influence of purification on physicochemical and emulsifying properties of tamarind (*Tamarindus indica* L.) seed gum, *Food Hydrocolloids*, 93, 402-412. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.02.046>
- D' Archiovo, M., Filesi, C., Di Benedetto, R., Gargiulo, R., Giovannini, C. & Masella, R. (2007). Polyphenols, dietary sources and bioavailability. *Annali dell'Istituto Superiore di Sanità*, 43 (4), 348-361.
- Elías, R. D. & Cruz-Castillo, J. G. (2002). Chirimoya: investigación Agronómica en México. En J. G. Cruz-Castillo y P. A. Torres-Lima. (Ed.), Frutales para México, contribuciones del Caribe y Sudamérica (pp. 101-118). Xochimilco, Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana
- García-Aguirre, K., Ramón-Gallegos, E., Madrigal-Bujaidar, E., & Zepeda, L. G. (2006). Evaluación citotóxica *in vitro* de acetogeninas aisladas de *Annona cherimolia* Mill. *Revista de Salud Pública y Nutrición*, 07, 1-4.
- García-Barraga, H. (1974). Flora medicinal de Colombia. *Botánica Médica*. Bogotá, Colombia: Instituto de Ciencias Naturales-Universidad Nacional de Colombia.
- García-Salas, P., Gómez-Caravaca, A. M., Morales-Soto, A., Segura-Carretero, A. & Fernández-Gutiérrez, A. (2015). Identification and quantification of phenolic and other polar compounds in the edible part of *Annona cherimola* and its by-products by HPLC-DAD-ESI-QTOF-MS. *Food Research International*, 78, 246-257. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.10.002>

- García-Salas, P., Verardo, V., Gori, A., Caboni, M. F., Segura-Carretero, A. & Fernández-Gutiérrez, A. (2016). Determination of lipid composition of the two principal cherimoya cultivars grown in Andalusian Region. *LWT-Food Science and Technology*, 65, 390-397. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.004>
- Gerard, T. (1980). En R. I. Davidson, Handbook of water-soluble gums and resins (p. 23). NY., E.U.A.: McGraw-Hill.
- Gong, J., Shengxue, Z & Shihai, Y. (2019). Vanillic Acid Suppresses HIF-1 $\alpha$  Expression via Inhibition of mTOR/p70S6K/4E-BP1 and Raf/MEK/ERK Pathways in Human Colon Cancer HCT116 Cells. *International Journal of Molecular Sciences*, 20 (465), 1-18. <https://doi.org/10.3390/ijms20030465>
- Grein, A., Da Silva, B. C., Wendel, C.F., Tischer, C. A., Sierakowski, M. R., Moura, A. B. D., Lacomini, M., Gorin, P. A. J., Simas-Tosin, F. F. & Riegel-Vidotti, I. C. (2013). Structural characterization and emulsifying properties of polysaccharides of *Acacia mearnsii* de Wild gum. *Carbohydrate Polymers*, 92, 312-320. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.09.041>
- Gupta-Elera, G., Garrett, A. R., Martínez, A., Robison, R. A. & O'Neill, K. L. (2011). The antioxidant properties of the cherimoya (*Annona cherimola*) Fruit. *Food Research International*, 44 (7), 2205-2209. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.038>
- Hamdani, A. M., Wani, I. A. & Bhat, N. A. (2019). Sources, structure, properties and health benefits of plant gums: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135, 46-61. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.103>
- Hernández-Fuentes, L. M., Andrés-Agustín, J., Espíndola-Barquera, M. D. C., Castañeda-Vildózola, A., Ballesteros-Patrón, G. & Vera-Sánchez, K. S. (2016). Recursos genéticos de anonáceas (*Annonaceae*) en México: Situación actual y perspectivas. *Agroproductividad*, 9 (4), 3-8.
- Hunter, R. J. (1988). Zeta potential in colloid Science: principles and applications. Londres, Inglaterra: Academic Press Limited.
- Hunter, R. J. (1989). Foundations of colloid Science. Oxford, R.U.: Clarendon Press
- Ibáñez, M. C. & Ferrero, C. (2003). Extraction and characterization of the hydrocolloid from *Prosopis flexuosa* DC seeds. *Food Research International*, 36 (5), 455-460. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(02\)00192-8](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(02)00192-8)
- Ibrahim, N. A., Abo-Shosha, M. H., Allam, E. A & El-Zairy, E. M. (2010). New thickening agents based on tamarind seed gum and karaya gum polysaccharides. *Carbohydrate Polymers*, 81, 402-408. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.02.040>

- Izydorczyk, M., Cui, S. W. & Wang, Q. (2005). Polysaccharide Gums: Structures, Functional Properties and Applications. En S. W. Cui. (Ed.), *Food Carbohydrates* (pp. 254-306). Londres, Inglaterra: Taylor & Francis Group.
- Kralchevsky, P. A., Danov, K. D. & Denkov, N. D. (2003). Handbook of Surface and Colloid Chemistry. Florida, E.U.A.: CRC Press.
- Leboeuf, M., Cavé, A., Bhaumik, P. K., Mukherjee, B. & Mukherjee, R. (1982). The phytochemistry of the *Annonaceae*. *Phytochemistry*, 21 (12), 2783-2813. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(80\)85046-1](https://doi.org/10.1016/0031-9422(80)85046-1)
- Lizana, L. A. & Reginato, G. (1990). "Cherimoya". In: Fruits of Tropical and Subtropical origin: Composition, Properties and Uses. Florida, E.U.A.: Florida Science Source.
- Lopes, M. A., Monteiro, E. J., Santos, J. D., Serrano, A. P. & Saramago, B. (1999). Hydrophobicity, Surface tension, and zeta potential measurements of glass-reinforced hydroxyapatite composites. *Journal of Biomedical Materials Research*, 45 (4), 370-375. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4636\(19990615\)45:4<370AID-JBM12>3.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4636(19990615)45:4<370AID-JBM12>3.0.CO;2-0)
- Manica, I. (1997). Taxionomia, morfologia e anatomia. En Anonáceas. Produção e mercado. (Pinha, graviola, atemóia e cherimólia). Bahia, Brasil: UESB.
- Mondragón, P. (2017). Espectroscopia de infrarrojo para todos ...y 51 espectros de alimentos consumidos en México. Zapopan, Jalisco, México: CIATEJ.
- Monroy, R. & Marroquín L. M. (2008). Anonáceas. Un recurso para el desarrollo sustentable. Memoria V del Congreso Nacional de Anonáceas, Cuernavaca, Morelos.
- Muñoz-Villa, A., Sáenz-Galindo, A., López-López, L., Cantú-Sifuentes, L. & Barajas-Bermúdez, L. (2014). Ácido Cítrico: Compuesto Interesante. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 6 (12), 18-23.
- Ochoa, Y. M., Cerna, E., Landeros, J., Hernández, S. & Delgado, J. C. (2012). Evaluación in vitro de la actividad antifúngica de cuatro extractos vegetales metanólicos para el control de tres especies de *Fusarium* spp. *Revista Internacional de Botánica Experimental*, 81, 69-73.
- Pacheco-Palencia, L. A., Mertens-Talcott, S. & Talcott, S. T. (2008). Chemical Composition, Antioxidant Properties, and Thermal Stability of a Phytochemical Enriched Oil from Açai (*Euterpe oleracea* Mart.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 4631-4636. <https://doi.org/10.1021/jf800161u>
- Petrea, P., Amarioarei, G., Apostolescu, N., Puitel, A.C. & Ciovisa, S. (2013). Some aspects of the characterization of vegetable gums: *Prunus persica* (plum) and *Prunus domestica* (cherry). *Cellulose Chemistry and Technology*, 47 (5), 369-375.

- Piqué, T. M. & Vázquez, A. (2012). Uso de Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) en el estudio de la hidratación del cemento. *Concreto y Cemento. Investigación y Desarrollo*, 3 (2), 62-71.
- Quílez, A. M., Fernández-Arche, M. A., García-Giménez, M. D. & De la Puerta, R. (2018). Potential therapeutic applications of the genus *Annona*: Local and traditional uses and pharmacology. *Journal of Ethnopharmacology*, 225, 244-270. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.06.014>
- Ramírez, J. B. (2006). Introducción a la Reología de los alimentos. *Revisiones de la Ciencia, Tecnología e Ingeniería de los Alimentos*, 6 (1), 25-26.
- Rao, M. A. (2007). Rheology of fluid and semisolid foods. Principles and applications, (2<sup>nd</sup> ed.). NY., E.U.A.: Springer Science & Business Media LLC.
- Ravindran R. & Jaiswal, A. K. (2016). Exploitation of food industry waste for high-value products. *Trends in Biotechnology*, 34, 58-69. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2015.10.008>
- Rechner, A. R., Kuhnle, G., Bremner, P., Hubbard, G. P., Moore, K. P. & Rice-Evans, C. A. (2002). The metabolic fate of dietary polyphenols in humans. *Free Radical Biology & Medicine*, 33 (2), 220-235. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(02\)00877-8](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(02)00877-8)
- Reid, G. J. S. (1985). En: P. M. Dey, R.A. Dixon (Eds.), *Biochemistry of Storage Carbohydrates in green plants* (pp. 265-289). Lóndres, Inglaterra: Academic Press.
- Rincón, F., Muñoz, J., Ramírez, P., Galán, H. & Alfaro, M. C. (2014). Physicochemical and rheological characterization of *Prosopis juliflora* seed gum aqueous dispersions. *Food Hydrocolloids*, 35, 348-357. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.06.013>
- Ríos, J. L., Cortes, D. & Valverde, S. (1989). Acetogenins, Aporphinoids, and Azaanthraquinone from *Annona cherimolia* Seeds. *Planta Medica*, 55 (3), 321-323. <https://doi.org/10.1055/s-2006-962020>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2019). Producción de chirimoya. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Consultada el 30 de octubre de 2020.
- Shoemaker, C. F., Lewis, J. I. & Tamura, M. S. (1987). "Instrumentation for rheological measurements of food". *Food Technology*, 41, 80-84.
- Simas-Tosin, F. F., De Souza, L. M., Wagner, R., Pereira, G. C. Z., Barraza, R. R., Wendel, C. F., Sasaki, G. L., Lacomini, M. & Gorin, P. A. J. (2013). Structural characterization of a glucuronoarabinoxylan from pineapple (*Ananas comosus*) gum exudate, *Carbohydrate Polymers*, 94 (1), 704-711. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.12.059>

- Soukoulis C., Gaiani, C. & Hoffmann, L. (2018). Plant seed mucilage as emerging biopolymer in food industry applications. *Current Opinion in Food Science*, 22, 28-42. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.01.004>
- Srinivasulu, C., Ramgopal, M., Ramanjaneyulu, G. Anuradha, C. M. & Chitta, S. K. (2018). Syringic acid (SA)-A Review of Its Occurrence, Biosynthesis, Pharmacological and Industrial Importance. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 108, 547-557. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.09.069>
- Steffe, J. F. (1996). Rheological methods in foods process engineering. N.Y., E.U.A.: Freeman Press.
- Stephen, A. M. & Churms, S. C. (1995). Gums and Mucilages. En A. M. Stephen (Ed.), *Food Polysaccharides and Their Applications* (398-399). N.Y., E.U.A.: Marcel Dekker Inc.
- Torres, L. G., Carpinteyro-Urban, S. & Corzo-Rios, L. J. (2013). Use of *Annona Diversifolia* and *A. Muricata* Seeds as Source of Natural Coagulant-Flocculant Aids for the Treatment of Wastewaters. *European Journal of Biotechnology and Biosecience*, 1 (2), 16-22.
- Van Damme, P. & Scheldeman, X. (2013). *El fomento del cultivo de la chirimoya en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Recuperado de <http://www.fao.org/3/x2450s/x2450s09.htm#el%20fomento%20del%20cultivo%20de%20la%20chirimoya%20en%20am%C3%A9rica%20latina>, consultado el 17 de noviembre de 2020.
- Vasco, C. Ruales, J. & Kamal-Eldin, A. (2008). Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. *Food Chemistry*, 111 (4), 816-823. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.04.054>

### 3. CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE GOMA DE SEMILLA DE CHIRIMOYA (*Annona cherimola* Mill.)

#### RESUMEN

Goma de chirimoya (GSC) se extrajo de semillas de *Annona cherimolla* Mill. (rendimiento de  $10.81 \pm 0.20$  % p/p) y sus propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas y microestructurales se investigaron. El análisis químico mostró que la GSC, en base seca, consistió principalmente de  $49.84 \pm 0.04$  % carbohidratos,  $43.06 \pm 0.84$  % proteína,  $6.81 \pm 0.09$  % cenizas y  $0.29 \pm 0.01$  % lípidos. El espectro FTIR indicó que CSG está compuesta por  $\alpha$ -D-manopiranososa y  $\beta$ -D-galactopiranososa. Los valores de potencial  $\zeta$  de GSC fueron negativos en el rango de pH de 3.0 a 9.0. El comportamiento de flujo de dispersiones acuosas de GSC, independientemente del pH, y la concentración de goma y sacarosa, se caracterizó por curvas de viscosidad aparente-tasa de corte que exhibieron cuatro regiones: una región inicial de meseta correspondiente al comportamiento newtoniano a tasas de corte entre  $0.02$  y  $0.07$  s<sup>-1</sup>, una región reo-adelgazante no newtoniana a tasas de corte aproximadamente entre  $0.1$  y  $10$  s<sup>-1</sup>; seguida de una región donde la viscosidad aparente tendió al infinito ( $10$  y  $100$  s<sup>-1</sup>), y finalmente un comportamiento reo-espesante a tasas de corte superiores a  $100$  s<sup>-1</sup>. El modelo de Herschel-Bulkley ( $R^2 > 0.90$ ) describió las propiedades de flujo de las dispersiones de GSC. La solubilidad de GSC incrementó significativamente a valores de pH alcalino, mientras que su tamaño de partícula disminuyó de  $1236 \pm 37.04$  nm at pH 3.0 a  $460.93 \pm 10.62$  nm at pH 9.0. GSC mostró estabilidad térmica a temperaturas más altas (aproximadamente  $200$  °C) que aquellas comúnmente usadas en diversas aplicaciones industriales de gomas.

**Palabras clave:** *Annona cherimola*, FTIR, goma de semilla de chirimoya, propiedades térmicas, Reología, solubilidad.

---

Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: IAI. Jairo Omar Ramírez Rojas

Directora de Tesis: Dra. Consuelo S. O. Lobato Calleros

# PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF CUSTARD APPLE SEED GUM (*Annona cherimola* Mill.)

## ABSTRACT

Custard apple (*Annona cherimola* Mill.) gum (CSG) was extracted from seeds (yield of  $10.81 \pm 0.20\%$  w/w), and its physicochemical, thermal, rheological and microstructural properties were investigated. Chemical analysis showed that CSG in dry basis mainly consisted of  $49.84 \pm 0.04\%$  carbohydrates,  $43.06 \pm 0.84\%$  protein,  $6.81 \pm 0.09\%$  ash, and  $0.29 \pm 0.01\%$  lipid. FTIR spectrum indicated that CSG is composed of  $\alpha$ -D-manopiranosose and  $\beta$ -D-galactopiranosose.  $\zeta$ -potential values of the CSG were negative in the pH range of 3.0 to 9.0. Flow behavior of CSG aqueous dispersions, independent of the pH and concentration of gum and sucrose, was characterized by curves of apparent viscosity-shear rate exhibiting four distinctive regions: an initial plateau region corresponding to Newtonian behavior at shear rates between  $0.02$  and  $0.07 \text{ s}^{-1}$ , a non-Newtonian shear thinning region at shear rates approximately between  $0.1$  and  $10 \text{ s}^{-1}$ , followed by a region where apparent viscosity tended to infinity between  $10$  and  $100 \text{ s}^{-1}$ , and finally a shear thickening behavior at shear rates greater than  $100 \text{ s}^{-1}$ . Herschel-Bulkley model ( $R^2 > 0.90$ ) described the flow properties of the CSG dispersions. Solubility of CSG significantly increased at alkaline pH values, while its particle size diminished from  $1236 \pm 37.04 \text{ nm}$  at pH 3.0 to  $460.93 \pm 10.62 \text{ nm}$  at pH 9.0. CSG showed thermal stability at higher temperatures (around  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ ) than those commonly used in diverse industrial applications of vegetable gums.

**Key words:** *Annona cherimola*, custard apple seed gum, FTIR, thermal properties, Rheology, solubility.

---

Thesis, Universidad Autónoma Chapingo

Author: IAI. Jairo Omar Ramírez Rojas

Advisor: Dra. Consuelo S. O. Lobato Calleros

### 3.1. INTRODUCCIÓN

La familia de plantas *Annonaceae* cuenta con 130 géneros y 2,300 especies, distribuidas principalmente en zonas tropicales y subtropicales (Quílez et al., 2018). Vidal et al. (2014) mencionan que del género *Annona*, las especies que han alcanzado mayor desarrollo comercial son: guanábana (*Annona muricata* L.), chirimoya (*Annona cherimola* Mill) y saramuyo o anona (*Annona squamosa* L.). El uso de las gomas en la industria alimentaria es muy extenso en la fabricación de helados, confitería, jugos de fruta, cerveza, vinos, quesos, mermeladas, aderezos, embutidos, productos dietéticos, entre otros. En cada caso, las gomas desempeñan un papel muy característico, gracias a las propiedades funcionales que desarrollan; estas últimas dependen de diversos factores, como la concentración de la goma, las sales minerales en el medio, el pH, el uso individual o combinado de gomas (Badui, 2006). Se requiere el estudio de gomas de origen natural que no ocasionen daño a los consumidores y que proporcionen propiedades funcionales a los alimentos.

La parte que más se aprovecha del árbol de chirimoya es el fruto (Van Damme y Scheldeman, 2013), constituido por pulpa (83.75 %), cáscara (10.42 %) y semilla (5.83 %), siendo estos dos últimos componentes residuos agroindustriales sin algún aprovechamiento (Apolonio et al., 2015). Con la finalidad de aprovechar estos subproductos agroindustriales, así como conferirles valor agregado, se han realizado distintos estudios, destacando la determinación del perfil de ácidos grasos del aceite en la semilla (García-Salas et al, 2016), determinación de compuestos polares como ácido cítrico, hexóxido de ácido vainílico y glucopiranosido de ácido siríngico (García-Salas et al., 2015). A pesar de que se han realizado algunos estudios en la semilla de chirimoya, la extracción de la goma presente en ésta no ha sido investigada y por ende no se ha cuantificado ni caracterizado.

La demanda por alimentos naturales por parte de los consumidores ha incentivado la búsqueda de fuentes alternativas de gomas alimenticias que además de ser inocuas, pueden emular determinadas propiedades funcionales

en diversas matrices alimenticias y servir en diversas aplicaciones en la industria alimentaria, una de esas fuentes puede ser las semillas al estar ampliamente disponibles, no ser tóxicas y ser biodegradables (Avachat et al. 2011); las gomas así obtenidas deben ser caracterizadas para determinar sus posibles aplicaciones. Por tanto, los objetivos del presente trabajo fueron establecer el método de extracción de goma de semillas de chirimoya, determinar el rendimiento, composición química proximal, propiedades físicas (color, potencial zeta, tamaño de partícula, solubilidad y viscosidad), analizar el espectro infrarrojo para determinar los grupos funcionales y medir las propiedades calorimétricas, para de esta forma contribuir a la caracterización de la goma de semilla de chirimoya y al aprovechamiento de un desecho agroindustrial.

## **3.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.2.1. Materiales**

La investigación se desarrolló en el Laboratorio de Tecnología de Alimentos del Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. Los frutos de chirimoya, en estado de madurez fisiológica fueron adquiridas en Tetela del Volcán, Morelos, México (18°53'35" LN, 98°43'47" LO y altitud de 2066 m); recolectadas durante los meses de septiembre a octubre de 2019.

Se utilizó alcohol etílico (96 % v/v), ácido clorhídrico, hidróxido de sodio, éter etílico, todos de grado reactivo (Química Suastes, S. A. de C.V., Ciudad de México, CDMX). Se empleó agua destilada desionizada en los ensayos.

### **3.2.2. Caracterización del fruto de chirimoya**

Se seleccionó una muestra al azar de 30 frutos y se llevaron al laboratorio donde se evaluaron variables biofísicas como: el peso del fruto (g), peso de la pulpa (g), peso de semillas por fruto (g), número de semillas por fruto, peso medio de las semillas (g), índice de semillas (número de semillas en 100 g de pulpa).

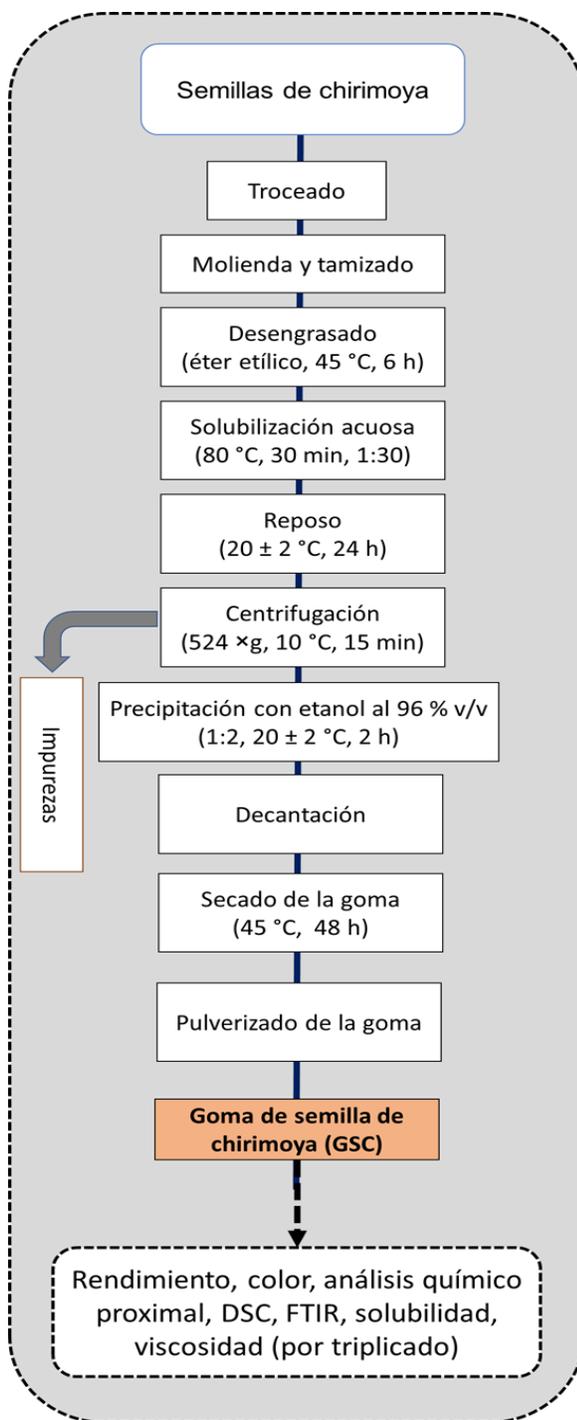
### **3.2.3. Obtención y caracterización de la harina de semilla de chirimoya (HSC)**

La obtención de la harina (HSC) se realizó de acuerdo con lo informado por Cardoso et al. (2016) con algunas modificaciones. Las semillas de chirimoya se retiraron manualmente de la pulpa, se lavaron con agua corriente y se desinfectaron con NaClO al 1 % v/v. Posteriormente, las semillas se secaron en estufa (HCF-62, Riossa Digital, Ciudad de México, México) a 40 °C hasta alcanzar un peso constante (aproximadamente 72 h). Las semillas secas se pulverizaron en una licuadora (mod. 465-15/13 2V, motor de 500 W, Osterizer, Sunbeam Mexicana, S.A. de C.V, Ciudad de México, México) durante dos lapsos de 1 min cada uno y después se sometieron a un segundo ciclo de trituración en un procesador de alimentos (Ultra Bullet, motor de 700 W, Marcas de Renombre, S.A. de C.V., Ciudad de México, México) durante intervalos de 20 s hasta completar 1 min. Posteriormente, la harina se pasó a través de tamices tipo industrial (MONTINOX) del N° 20 (abertura de 0.840 mm). La HSC se sometió a un análisis químico proximal determinando humedad, proteína, extracto etéreo, fibra cruda, cenizas y carbohidratos (AOAC, 2002). Finalmente, la HSC se almacenó en frascos de vidrio transparente cubiertos con papel aluminio para proteger su protección de la luz y temperatura.

### **3.2.4. Extracción de goma de semilla de chirimoya (GSC)**

La goma de semilla de chirimoya (GSC) se extrajo mediante el método propuesto por Alpizar-Reyes et al. (2017a) con ligeras modificaciones (Figura 2). Previamente, la harina de chirimoya se desengrasó en un equipo Soxhlet con éter etílico a 40 °C durante 6 h. Sesenta gramos de la harina obtenida se colocaron en un vaso de precipitados de 2 L y se añadió agua destilada en una proporción 1:30 p/v. La mezcla resultante se agitó (Mod. SP131635, Thermo Scientific Cimarec™, Essex, Reino Unido) aplicando un nivel 7 de agitación, durante 10 minutos. Para homogeneizar; la mezcla se calentó a 80 °C durante 30 min y se dejó reposar a 20 °C durante 24 h para asegurar la liberación de la goma. Posteriormente, el material no disuelto se eliminó mediante centrifugación (Centrifuge 5810 R, Eppendorf, AG, Hamburgo, Alemania) a 10 °C durante 15

min a 524×g. La goma se precipitó del sobrenadante mediante la adición de etanol al 96 % v/v en una relación 1:2 v/v, aplicando agitación constante durante 10 minutos. Después de un reposo de 2 h a temperatura ambiente ( $20 \pm 2$  °C) se decantó la mezcla para eliminación del sobrenadante; subsecuentemente, la GSC se secó a 45 °C durante 48 h (Bansal y Kumar, 2013) y se trituró con un mortero hasta obtener un polvo fino.



**Figura 2.** Proceso de extracción de la goma de semilla de chirimoya (GSC).

### 3.2.5. Rendimiento de GSC

El rendimiento fue expresado como el porcentaje de la cantidad de goma seca obtenida a partir de una cierta cantidad de 100 g de semillas de chirimoya secas (Alpizar-Reyes et al., 2017a), siguiendo la Ecuación (1).

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{peso seco de goma (GSC)}}{\text{peso seco de semillas}} \times 100$$

Ecuación 1

### 3.2.6. Análisis químico proximal

El contenido de humedad, extracto etéreo, cenizas, fibra cruda y proteína de la goma de semilla de chirimoya se determinó de acuerdo con los métodos estándar de la AOAC, (2002) 925.23, 920.39, 945.46 y 920.105 respectivamente. El contenido de carbohidratos totales de la goma se determinó por diferencia.

### 3.2.7. Color de la GSC

El color de la GSC se evaluó utilizando un colorímetro (CR 400, Konica Minolta, Inc., Tokio, Japón). La muestra de la goma (5 g) se colocó en cajas Petri (5 cm de diámetro) y los parámetros de color Hunter L, a y b correspondientes a la luminosidad (L), verde (- a) o rojo (+ a) y azul (- b) o amarillo (+ b); se determinaron a temperatura ambiente, los valores fueron reportados en c (croma) y h (hue). Se usó como referencia un patrón de calibración blanco ( $L^* = 96.90$ ,  $a^* = 0.21$ ,  $b^* = 1.93$ ). Las determinaciones se realizaron por triplicado (Martínez-Velasco et al., 2018).

### 3.2.8. Solubilidad

La solubilidad se determinó mediante el método propuesto por Cortés-Camargo et al. (2017) con modificaciones. Brevemente, 10 mL de dispersiones acuosas de GSC a 2 % (p/p) se sometieron a agitación (nivel 5) durante 30 min a 20 °C; a continuación, las dispersiones acuosas se centrifugaron a 800×g durante 15 min a 24 °C. El sobrenadante se secó en una estufa (Riossa Digital, HCF-62, Ciudad de México, México) a 100 ° C durante 12 h. La solubilidad se calculó usando la Ecuación (2).

$$\text{Solubilidad (\%)} = \frac{w_f}{w_i} \times 100$$

Ecuación 2

donde  $w_i$  es el peso de GSC usado para preparar las suspensiones, y  $w_f$  es el peso de GSC recuperado de la solución.

### **3.2.9. Potencial zeta ( $\zeta$ )**

Se realizaron mediciones de los valores de potencial zeta ( $\zeta$ ) de dispersiones de goma de semilla de chirimoya (0.05 % p/p) en un intervalo de pH de 3 a 9, con incrementos de dos unidades, ajustados mediante la adición de HCl 0.1 N y/o NaOH 0.1 N. Las dispersiones de GSC se colocaron en la celda de prueba de un equipo Zetasizer Nano ZS90 (Malvern Instruments Ltd., Malvern, Worcestershire, Reino Unido). El software del equipo convirtió las mediciones de movilidad electroforética en potencial zeta ( $\zeta$ ) a partir del modelo matemático de Smoluchowski (Cuevas-Bernardino et al., 2016).

### **3.2.10. Diámetro hidrodinámico medio ( $d_h$ )**

El diámetro hidrodinámico medio ( $d_h$ ) de las dispersiones de GSC (0.01 % p/p) se evaluó mediante dispersión de luz dinámica (Kaewmanee et al., 2014) y el ancho de la distribución del tamaño se determinó como índice de polidispersidad (PDI) en el equipo Zetasizer Nano ZS90 utilizando un índice de refracción de 1.334 y un índice de absorción de 0.001.

### **3.2.11. Calorimetría Diferencial de Barrido**

Los cambios estructurales de la GSC como resultado del incremento de temperatura se realizaron mediante el método propuesto por Amirabadi et al. (2020) con ligeras modificaciones. El análisis DSC, por sus siglas en inglés, se realizó utilizando un calorímetro (DSC131-EVO; Setaram Instrumentation, París, Francia). Se utilizaron patrones de indio (In), zinc (Zn) y estaño (Sn) para calibrar la energía y temperatura del equipo, se utilizó helio como gas de purga. Se pesó la muestra de GSC (~ 7 mg) en crisoles de aluminio de 30  $\mu$ L de volumen, luego se prensaron y sellaron. La muestra fue analizada en un rango de temperatura de 25 °C a 500 °C a una velocidad de calentamiento de 10 °C  $\text{min}^{-1}$  usando un crisol de aluminio vacío y sellado como referencia.

### **3.2.12. Espectroscopía Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR)**

Los espectros de infrarrojo se registraron con un espectrofotómetro FTIR CARY 630 (Agilent Technologies, Inc. Agilent, California, EUA.), equipado con un accesorio universal de reflectancia total atenuada, utilizando el procedimiento

descrito por Martínez-Velasco et al. (2018). Diez miligramos de GSC se colocaron en contacto con el cristal de diamante ajustando la geometría a una calibración de la fuerza de 60 unidades. Se registró la absorbancia a longitudes de onda de 4000 a 750  $\text{cm}^{-1}$  con una resolución de 4  $\text{cm}^{-1}$  y 64 barridos.

### **3.2.13. Comportamiento de flujo de la GSC**

El comportamiento de flujo se evaluó a diferentes condiciones, resultando así nueve tratamientos; para ello, se elaboraron las dispersiones utilizando agua desionizada. Para observar el efecto de la concentración de goma, se prepararon dispersiones de GSC a concentraciones de 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 % p/p; para observar el efecto del pH se prepararon dispersiones de GSC a una concentración de 1.0 % p/p con valores de pH de 3.0, 5.0, 7.0 y 9.0. Finalmente, para observar el efecto de la concentración de azúcar, se prepararon dispersiones de GSC al 1.0 % p/p, con concentraciones de 2.5, 5.0, 10.0 y 20.0 % p/v de sacarosa. En todos los casos, se ajustó el valor de pH mediante la adición de HCl 0.1 N y/o NaOH 0.1 N.

Posteriormente, las dispersiones se almacenaron a 4 °C durante 24 h para completar la hidratación antes de su evaluación. Una vez hidratadas las dispersiones, se procedió a determinar el comportamiento de flujo, siguiendo el método descrito por Cuevas-Bernardino et al. (2016) con modificaciones. Brevemente, se determinaron curvas de flujo utilizando rampas de velocidad de cizallamiento de  $10^{-1}$  a  $10^3 \text{ s}^{-1}$  a 20 °C con un reómetro Physica MCR 301 (Anton Paar, Messtechnik, Stuttgart, Alemania), acoplado a una geometría de cilindros concéntricos. Las dispersiones de GSC (a diferente concentración de goma, distinto valor de pH y concentración de azúcar disímil) se centrifugaron a  $524 \times g$  a 10 °C durante 15 min para asegurar la homogeneidad de la muestra antes de la medición. Los datos de las curvas de flujo se ajustaron a los modelos reológicos de Carreau, Casson, Herschel-Bulkley y Ellis (Darby y Chhabra, 2017) utilizando el software del reómetro, seleccionando el modelo que mostró el  $R^2$  más alto. Se obtuvieron micrográficas siguiendo el método propuesto por Alpizar-Reyes et al. (2017b), usando un microscopio óptico Olympus BX53F (Olympus

Corp., Tokio, Japón) y una cámara digital Moticam 2500 (Motic Incorporation Ltd., Hong Kong, China). Muestras de cada dispersión se colocaron sobre un portaobjetos de vidrio con cubreobjetos y se observaron a una magnificación de 40x utilizando el software procesador de imagen Motic Images Plus 2.0 (Motic, Corp., Ltd., China).

### 3.2.14. Análisis estadístico

Experimentos independientes se realizaron por triplicado usando un diseño experimental completamente al azar. Todos los análisis se llevaron a cabo por triplicado. Los datos obtenidos del comportamiento de flujo en función de la concentración de goma, valor de pH y concentración de sacarosa, así como los parámetros del modelo de Herschel-Bulkley se sometieron a análisis de varianza de clasificación simple y en casos adecuados a prueba de comparación de medias de Tukey. La significancia fue establecida con  $p \leq 0.05$ . El análisis estadístico se realizó con el paquete estadístico Statgraphics Centurion XVI (Statistical Graphics Corp., Manugistics, Inc., Cambridge, MA, EE. UU.).

## 3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.3.1 Caracterización del fruto de chirimoya

Las frutas de chirimoya utilizadas en este estudio presentaron alta heterogeneidad en el peso del fruto y sus fracciones, así como de semillas por fruto (Cuadro 7). En lo que respecta al contenido de agua, la pulpa contuvo 80.5 % (p/v) de humedad. Por su parte, el contenido de humedad en la semilla íntegra fue de 3.17 % (p/v), aumentando a 7.72 % (p/v) en la semilla desengrasada (Cuadro 8).

**Cuadro 7.** Composición del fruto de chirimoya (*Annona cherimola* Mill.)

Peso fruto (g)	Número de semillas por fruto	Peso semillas/fruto (g)	Peso cáscara (g)	Peso pulpa (g)
602.05 ± 109.85	37.60 ± 14.52	25.14 ± 10.66	138.75 ± 31.14	438.17 ± 95.10

Los datos indican las medias de treinta muestras ± desviación estándar.

De los datos obtenidos de frutos de chirimoya, la pulpa representó  $72.52 \% \pm 5.64$ , la cáscara  $23.34 \% \pm 4.91$  y la semilla  $4.14 \% \pm 1.46$ . Por cada kilogramo de fruta se obtuvieron alrededor de 63 semillas, lo que se traduce en 41.58 g de semilla (peso fresco). Estos resultados difieren ligeramente con los informados por Apolonio et al. (2015), en los que la pulpa representó el 85.03 %, la cáscara el 10.66 % y la semilla el 4.29 % del fruto de chirimoya.

El índice de semillas obtenido fue de  $6.20 \pm 2.01$  semillas/100 g de pulpa; este resultado es consistente a lo informado por Jalikop y Kumar (2007) en frutos de 'Arka Sahan' [(*A. cherimola* × *A. squamosa*) × *A. squamosa*], con un valor 6.18 semillas/100 g de pulpa y es ligeramente menor al reportado por Apolonio et al. (2015) en frutos de chirimoya [(*A. cherimola* cv. 'Campas' × *A. cherimola* cv. 'White'), con un valor de 8.0 semillas/100 g de pulpa. Las diferencias encontradas pueden deberse a las características genéticas, estado de madurez, prácticas agrícolas y lugar de procedencia de los frutos (Perfectti y Pascual, 2005; Scheldeman et al., 2006).

### 3.3.2. Obtención y caracterización de la harina de semilla de chirimoya

En el Cuadro 8 se muestra la composición química de la harina de semilla de chirimoya (HSC), exhibiendo valores altos en extracto etéreo y carbohidratos. Amoo et al. (2008) informaron la siguiente composición para la semilla de chirimoya: Cenizas 0.81 %, proteína cruda 17.36 %, extracto etéreo 29.39 %, fibra cruda 32.46 %, carbohidratos 10.32 % (base húmeda). Las diferencias con los resultados de este estudio pueden deberse al estado de madurez fisiológico del fruto, prácticas agrícolas (Scheldeman et al., 2006) y lugar de procedencia (Perfectti y Pascual, 2005).

**Cuadro 8.** Composición química de harina de semilla de chirimoya sin desengrasar (HSC) y desengrasada (HSCD).

Muestra	Humedad (%)	Cenizas (%)	Proteína cruda (%)	Extracto etéreo (%)	Fibra cruda (%)	Carbohidratos (%)
HSC*	$3.78 \pm 0.08$	$1.64 \pm 0.05$	$15.97 \pm 0.14$	$32.80 \pm 0.35$	$21.78 \pm 0.20$	$24.03 \pm 0.03$

HSC**	0.00 ± 0.00	1.71 ± 0.05	16.59 ± 0.14	34.08 ± 0.36	22.64 ± 0.20	24.98 ± 0.03
HSCD*	7.47 ± 0.07	2.77 ± 0.01	14.41 ± 0.15	1.80 ± 0.03	21.70 ± 0.20	51.85 ± 0.04
HSCD**	0.00 ± 0.00	2.99 ± 0.01	15.57 ± 0.16	1.95 ± 0.03	23.45 ± 0.20	56.04 ± 0.04

Los datos indican media ± desviación estándar. \*Los resultados de toda la fila se reportan en base húmeda. \*\*Los resultados de toda la fila se reportan en base seca.

### 3.3.3. Composición química y rendimiento de la goma de semilla de chirimoya

El contenido de humedad de la GSC fue de  $4.52 \pm 0.07$  % (p/v), siendo el primer estudio informado para esta goma. En el Cuadro 9 se presenta la composición proximal en base seca.

La GSC no se ha estudiado antes, por lo que no hay valores de referencia para la composición química proximal; no obstante, varios investigadores han estudiado la composición química de gomas extraídas de semillas como la de berro (Karazhiyan et al., 2011), lino (Kaushik et al., 2017), guar (Hamdani et al., 2018), *Lepidium perfoliatum* (Koocheki et al., 2013), *Ocimum basilicum* (Hosseini-Parvar et al., 2010), *Prosopis juliflora* (Rincón et al., 2014), tamarindo (Crispín-Isidro et al., 2019) y chíca (Timilsena et al., 2016), las cuales presentan rangos de 3.4-14 % para humedad, 43.51-98.46 % carbohidratos, 0.5-23.4 % grasa y 0.18-6.53 % en cenizas. Los valores encontrados en este estudio se encuentran dentro de los rangos reportados para gomas vegetales extraídas de semillas.

**Cuadro 9.** Rendimiento y composición química de la goma de semilla de chirimoya (base seca).

Goma de semilla de chirimoya	
Rendimiento (%)	10.81 ± 0.20
Cenizas (%)	6.81 ± 0.09
Proteína (%)	43.06 ± 0.84
Extracto etéreo (%)	0.29 ± 0.01
Carbohidratos totales (%)	49.84 ± 0.04

Los datos indican media ± desviación estándar.

El rendimiento de GSC (Cuadro 9) es consistente con los valores reportados para el mucílago de *Opuntia* sp. con rendimiento de 8-20 % (Sepúlveda et al., 2007) y goma de semilla de *Lepidium perfoliatum* 10.83-28.60 % (Koocheki et al., 2013). Asimismo, este rendimiento fue mayor al reportado para goma de lino 7.9 % (Cui et al., 1994) y goma Yanang 4.54 % (Singthong et al., 2009).

### 3.3.4. Color de la GSC

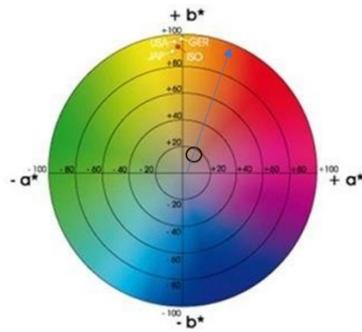
Los parámetros de color L\*, a\*, b\*, C y H de GSC se muestran en el Cuadro 10. La GSC presentó un valor de L\* superior a 55 y una cromaticidad en el espectro amarillo-anaranjado (Figura 3).

**Cuadro 10.** Parámetros de color de la goma de semilla de chirimoya.

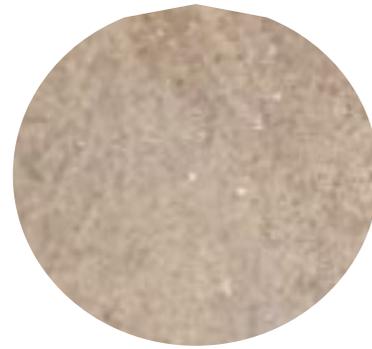
Componente de color	Valor
L*	56.22 ± 1.01
a*	5.51 ± 0.00
b*	17.62 ± 0.84
C*	18.46 ± 0.80
H*	72.63 ± 0.79

Los datos indican media ± desviación estándar. L\*: luminosidad (negro a blanco); a\*: componente que indica coloración de rojo a verde; b\*: componente que indica coloración de azul a amarillo; C\*: croma; H\*: ángulo de tono.

Los valores obtenidos de luminosidad (L\*) para la GSC son similares a los reportados por Phimolsiripol et al. (2011) en goma de nuez malva (47.02), y por Crispín-Isidro et al. (2019) en goma de semilla de tamarindo de purificación media (53.84). El valor de L\* de la GSC explica su apariencia oscura u opaca (Figura 4).



**Figura 3.** Coordenadas CIEL\*a\*b\* de la goma de semilla de chirimoya



**Figura 4.** Goma de semilla de chirimoya pulverizada.

Fathi et al. (2016) reportaron que los valores de  $a^*$  y  $b^*$  en las gomas vegetales varían de -1.91 a 6.60 y de 5.40 a 26.93, respectivamente. Los valores de  $a^*$  de la GSC se encuentran dentro del rango, explicando su tonalidad café, color que se puede atribuir principalmente a la presencia de pigmentos asociados con la testa de las semillas (Bagul et al, 2015). Por su parte, el valor de  $b^*$  de la GSC se asemeja al reportado por Crispín-Isidro et al. (2019) para goma de semilla de tamarindo de purificación baja, indicando una tonalidad amarilla, atribuida al contenido de pigmentos (carotenoides) presentes en la testa y trazas de lípidos (Nagajothi et al., 2017).

### 3.3.5. Potencial $\zeta$ y tamaño de partícula

El potencial  $\zeta$  es un parámetro físico relacionado con la magnitud de la repulsión o de la atracción electrostática (o de carga) entre partículas o moléculas; por tanto, es un parámetro que afecta la estabilidad de los sistemas dispersos alimenticios. La medición del potencial  $\zeta$  proporciona información detallada de las causas de la dispersión, agregación o floculación de un sistema, y se puede usar para mejorar la formulación de sistemas coloidales. Si las partículas en una dispersión coloidal tienen un alto potencial  $\zeta$  negativo o positivo, tienden a repelerse entre sí y no se observa una tendencia a la agregación entre partículas (Crispín-Isidro et al., 2019). GSC mostró valores de potencial  $\zeta$  negativos en todo el rango de pH estudiado (Cuadro 11), variando desde -11.70 a pH 3 hasta -23.13

a pH 9. Incrementos en el pH resultaron en aumentos significativos ( $p \leq 0.05$ ) en la magnitud de los valores de potencial  $\zeta$  de GSC. Valores similares de potencial  $\zeta$  fueron informados por Kaewmanee et al. (2014) para mucílago de lino de siete diferentes cultivares, variando en un intervalo de  $-19.8 \pm 1.21$  mV a  $-9.25 \pm 0.76$  mV, cuando el pH varió de 6.25 a 6.70. Barreto et al. (2019) mencionan que una característica aniónica de las gomas puede deberse a la presencia de grupos negativos carboxilato ( $\text{COO}^-$ ) derivados de la ionización de grupos carboxilo ( $-\text{COOH}$ ). Incrementos en el pH ocasionan la ionización de un mayor número de grupos carboxilo a grupos carboxilato, aumentando la carga negativa de las gomas.

**Cuadro 11.** Características fisicoquímicas de la goma de semilla de chirimoya como función del pH.

pH	Potencial $\zeta$ (mV)	Diámetro hidrodinámico medio (nm)	Solubilidad (%)
3.0	$-11.70 \pm 0.10^a$	$1236.00 \pm 37.04^a$	$11.03 \pm 0.18^a$
5.0	$-16.63 \pm 0.35^b$	$1123.33 \pm 74.41^a$	$13.00 \pm 0.07^b$
7.0	$-18.60 \pm 0.20^c$	$755.87 \pm 75.62^b$	$13.73 \pm 0.11^c$
9.0	$-23.13 \pm 0.21^d$	$460.93 \pm 10.62^c$	$14.40 \pm 0.14^d$

Los datos indican media  $\pm$  desviación estándar. Diferentes letras en la misma columna indican que las medias difieren significativamente ( $p \leq 0.05$ ).

La presencia de carga eléctrica negativa en la GSC la convierte en un polielectrolito aniónico, con aplicaciones potenciales diversas en la industria alimentaria; por ejemplo, pudiera ser usado para la formación de complejos coacervados, mediante su interacción con polielectrolitos catiónicos. Los complejos coacervados, a su vez, poseen propiedades estructurales y funcionales únicas que son aprovechadas para la protección de ingredientes bioactivos (Timilsena et al., 2016).

El diámetro hidrodinámico medio ( $d_h$ ) de GSC disminuyó significativamente ( $p \leq 0.05$ ) al aumentar el pH (Cuadro 11), variando de  $1236.00 \pm 37.04$  nm a pH 3.0 a  $460.93 \pm 10.62$  nm a pH 9.0. Resultados similares fueron reportados por

Kaewmanee et al. (2014) en mucílago de lino de diferentes cultivares ( $416 \pm 37.47$  a  $1031.33 \pm 94.64$ ) en un rango de pH de 6.25 a 6.70. El comportamiento de la GSC fue similar al reportado por Cortés-Camargo et al. (2017) en mucílago de nopal cuando se varió el pH de 5.0 (2520 nm) a 9.0 (1649 nm). Mathur (2012) menciona que el tamaño y distribución de partícula de los hidrocoloides son parámetros importantes en cuanto a la velocidad de hidratación, disolución y capacidad emulsificante. Los resultados de  $d_h$  de la GSC son acordes con aquellos de potencial  $\zeta$ ; esto es, aumentos en el pH y en la magnitud de la carga negativa de las moléculas de la GSC pudieron originar su repulsión electrostática, y en consecuencia la disminución de tamaño de sus partículas,

### **3.3.6. Solubilidad de la GSC**

La solubilidad de las gomas es una propiedad importante para su aplicación, influyendo en la apariencia y en la textura de sus dispersiones o de los sistemas a los que son incorporadas. Amid y Mirhosseni (2012) mencionaron que la interacción entre los hidrocoloides con las moléculas de agua reduce la difusión y estabiliza la presencia de hidrocoloides en el agua. En el presente trabajo, la solubilidad de la GSC se vio afectada por el pH, mostrando un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) al aumentar el pH, variando de  $11.03 \pm 0.18$  % a  $14.40 \pm 0.14$  % (Cuadro 9), exhibiendo mayor solubilidad a pH alcalino que en el intervalo de pH neutro y ácido a temperatura ambiente ( $20 \pm 2$  °C); este comportamiento directamente proporcional es consistente a lo reportado para goma de semilla de chíá purificada cuando se modificó el pH de las dispersiones de 1.8 a 9.0 (Timilsena et al., 2016). El aumento en la solubilidad de GSC pudo haberse debido a un menor tamaño de partícula a pH alcalino, asociado con el incremento en la densidad de carga, originando una contracción de las moléculas de la goma (Chen y Chen, 2001).

Las interacciones entre un hidrocoloide y el agua dependen de la unión al hidrógeno y de la temperatura; el comportamiento es particular para cada goma, por ejemplo, la goma xantana, guar y la carboximetilcelulosa son solubles en agua fría, pero la carragenina y los alginatos requieren agua caliente para una

hidratación completa (Chaplin, 2006). En general, algunas moléculas (de alto peso molecular y los galactomananos con bajo nivel de residuos de galactosa) se disuelven a alta temperatura; pero no se disuelven a baja temperatura. Pollard et al. (2007) mencionan que la granulación (el tamaño de partícula) puede tener un efecto en la solubilidad; siguiendo esta premisa, la solubilidad máxima encontrada fue a pH 9.0 ( $14.40 \pm 0.14$  %), cuyo tamaño de partícula (Cuadro 11) fue el más pequeño ( $460.93 \pm 10.62$  nm).

### **3.3.7. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)**

El comportamiento térmico de GSC se controló mediante calorimetría diferencial de barrido, este análisis mide la pérdida o ganancia de calor resultante de cambios físicos o químicos dentro de una muestra en función de la temperatura bajo atmósfera inerte (Pawar y Lalitha, 2014). En el Cuadro 12 se muestran las temperaturas a las cuales se observaron cambios en el comportamiento térmico de la GSC.

El Termograma de GSC (Figura 6) mostró varios efectos térmicos que se asemejan a los de un polisacárido natural típico; en el primer pico se observó una transición endotérmica prominente cercana a los 100 °C correspondiente a la pérdida de humedad (agua libre del polvo) de la GSC (Figura 5). Se informaron transiciones térmicas idénticas en goma guar a temperatura de 99 °C (Cerqueira et al. 2011) y goma de *Mimosa scabrella* a 100 °C (Vendruscolo et al., 2009). El segundo pico endotérmico alrededor de los 230 °C puede indicar la eliminación del agua de hidratación o agua ligada (Timilsena et al., 2016); mientras que el tercero representa el inicio de la descomposición de la GSC (pirólisis).

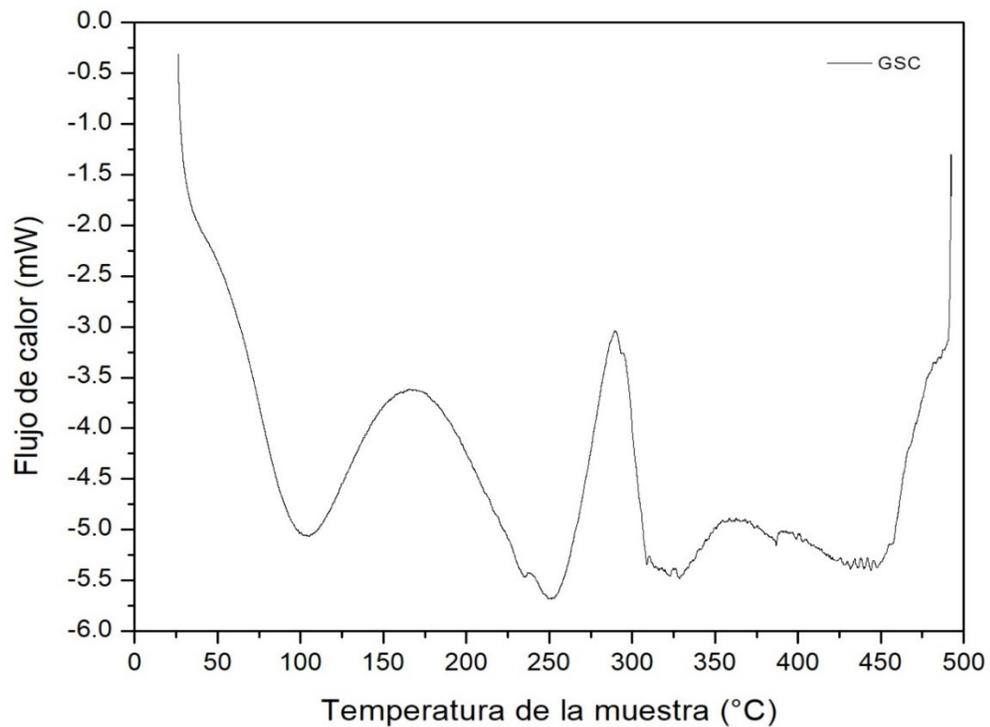
El calentamiento adicional mostró un El pico exotérmico cerca de los 290 °C señalando la descomposición o degradación oxidativa continua de la GSC, posible evaporización y eliminación de productos volátiles (Mudgil et al., 2012).

**Cuadro 12.** Resumen del comportamiento térmico de la goma de semilla de chirimoya.

	Pico endotérmico (°C)	Pico exotérmico (°C)
	101.36 ± 0.76	
GSC	230.32 ± 4.56	290.32 ± 0.85
	280.13 ± 1.86	

Los datos indican media ± desviación estándar. GSC: goma de semilla de chirimoya.

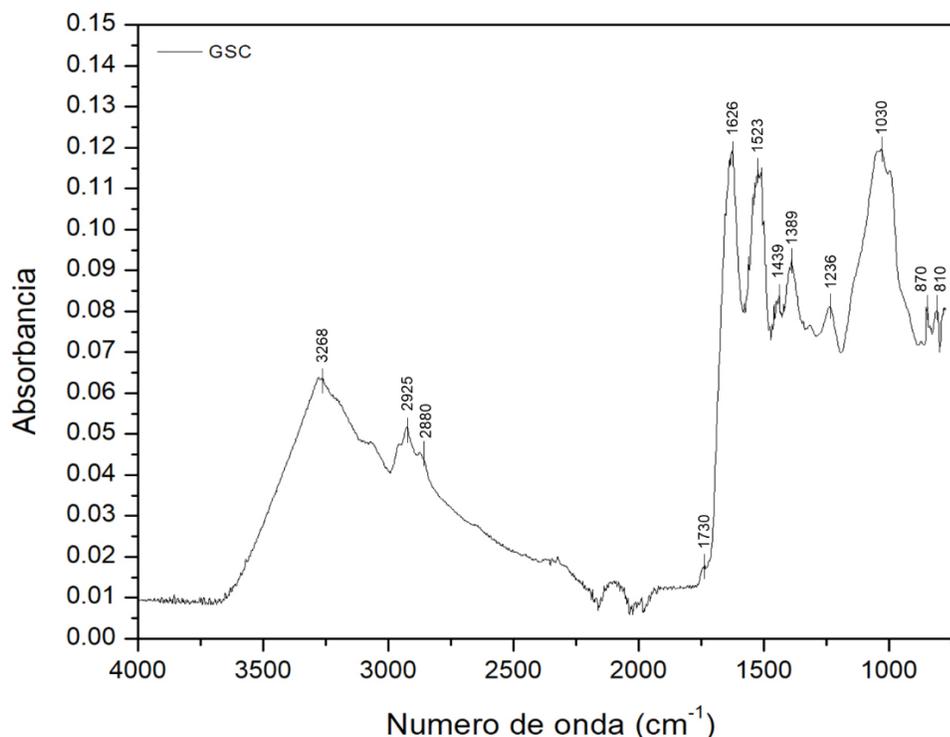
El amplio pico de descomposición de GSC a 230 °C pudo deberse a la ruptura de uniones entre la galactosa y la manosa a partir de la columna vertebral de dicha goma. Mudgil et al. (2012) reportaron un comportamiento similar para goma guar. Los resultados de DSC indicaron que la GSC posee una buena estabilidad térmica y brinda la oportunidad de utilizarla en procesos que utilicen alta temperatura.



**Figura 5.** Termograma de goma de semilla de chirimoya (GSC).

### 3.3.8. Espectroscopía Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR)

El espectro de infrarrojo de la GSC se muestra en la Figura 6. La GSC mostró una banda ancha centrada en  $3\,268\text{ cm}^{-1}$  atribuida a la vibración de estiramiento de grupos -OH debido al enlace de hidrógeno que involucra a los grupos hidroxilo y que constituye la estructura base de los carbohidratos. La presencia de la banda a  $2\,925\text{ cm}^{-1}$  se atribuye a la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace -C-H, mientras que la banda a  $2\,880\text{ cm}^{-1}$  se debe a la vibración de estiramiento (simétrico) del enlace -C-H del grupo -CH<sub>2</sub> (Barreto et al., 2019; Amirabadi et al., 2020; Timilsena et al., 2016). Mondragón (2017) menciona que a  $1\,626\text{ cm}^{-1}$  hay presencia de vibración de varios enlaces: estiramiento del -C=O (80 %), -C-N (10 %) y flexión del -N-H (10 %), el mismo autor menciona que a  $1\,523\text{ cm}^{-1}$  existe vibración de flexión de -N-H (60 %) y estiramiento del -C-N (40 %); de esta manera, la presencia de dos bandas agudas debido a la amida I a  $1\,626\text{ cm}^{-1}$  y amida II a  $1\,523\text{ cm}^{-1}$  indicaron que la goma exhibía moléculas de proteína (Crispín-Isidro et al., 2019; Trujillo-Ramírez et al., 2018). El pico a  $1\,439\text{ cm}^{-1}$  se debe a la vibración -C-C (Crispín-Isidro et al., 2019), otro pico a  $1\,389\text{ cm}^{-1}$  es debido a la flexión del enlace -C-H y el pico a  $1\,236\text{ cm}^{-1}$  se presenta por la vibración -C-O (Trujillo-Ramírez et al., 2018). La presencia de una banda intensa a  $1\,030\text{ cm}^{-1}$  es ocasionada por la presencia del estiramiento del enlace -C-O-C del enlace glucosídico 1→4 y a la flexión -C-O-H característicos de polisacáridos (Dos Santos et al., 2019; Timilsena et al., 2016). Finalmente, las bandas a  $860\text{ cm}^{-1}$  y  $810\text{ cm}^{-1}$  están relacionadas con la presencia de unidades α-D-manopiranososa y unidades β-D-galactopiranososa, respectivamente (Barreto et al., 2019; Cerqueira et al., 2011; Dos Santos et al., 2019). Se observaron resultados similares en goma guar (Mudgil et al., 2012), goma tara (Dos Santos et al., 2019), goma de semilla de chía (Timilsena et al., 2019) y goma de semilla de tamarindo (Crispín-Isidro et al., 2019).



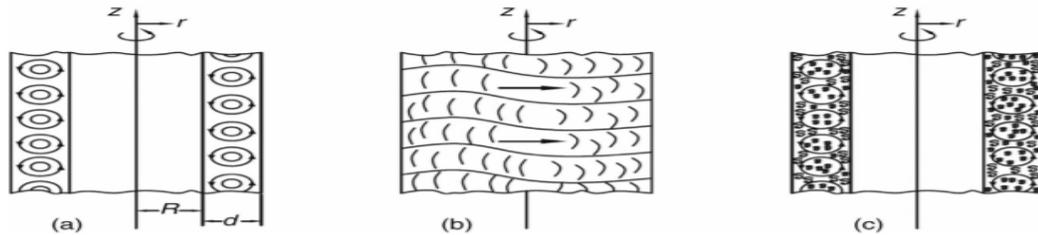
**Figura 6.** Espectro FTIR de la goma de semilla de chirimoya (GSC) en la región espectral entre 4000 y 700  $\text{cm}^{-1}$ .

### 3.3.9. Comportamiento de flujo de dispersiones de goma de semilla de chirimoya

#### Determinación de las propiedades de flujo a diferente concentración de goma

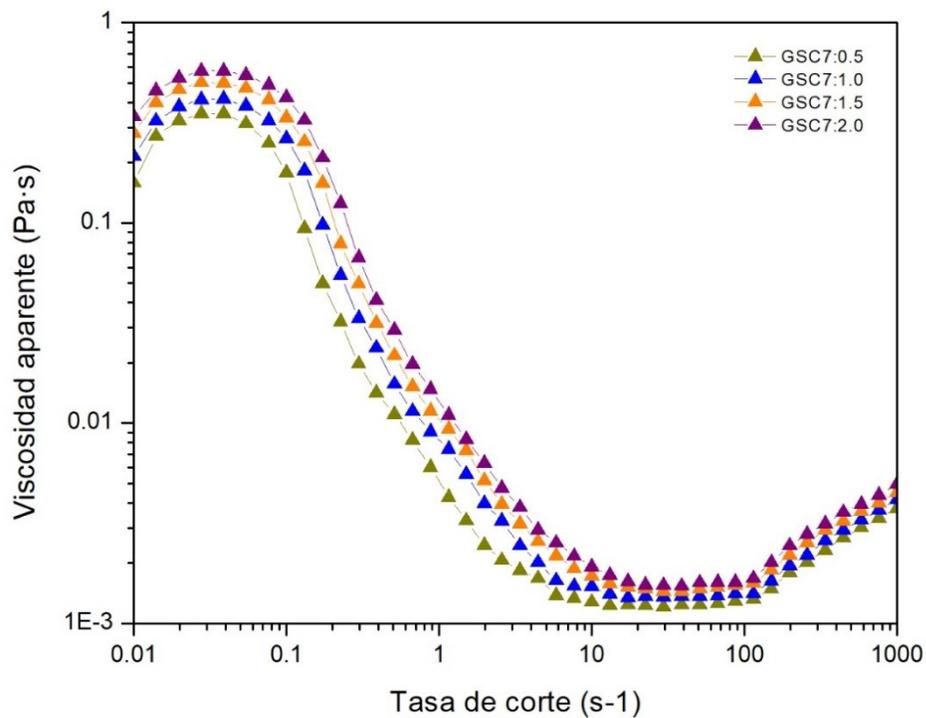
La variación de la viscosidad aparente con la tasa de corte como función de la concentración de goma se muestra en la Figura 8. Independientemente de su concentración, todas las dispersiones de GSC mostraron el mismo comportamiento reológico general; consistente en una región de meseta (comportamiento newtoniano) a tasas de corte bajas ( $10^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), característico de hidrocoloides (Al-Malah, 2000), seguido de una disminución de la viscosidad en el rango de velocidades de corte de  $10^{-1}$  a  $10^1 \text{ s}^{-1}$ , indicativo de un comportamiento reoadelgazante. Lo anterior, probablemente debido a una alineación de las cadenas de moléculas de la GSC en dirección del flujo, lo que resulta en una menor interacción entre las cadenas adyacentes de la GSC (Chagas et al., 2004) y dispersiones con viscosidad reducida; a partir de  $10^1$  hasta  $10^2 \text{ s}^{-1}$  la GSC exhibió valores de viscosidad aparente aproximándose al infinito y

a tasas de corte por arriba de  $100 \text{ s}^{-1}$  posiblemente se formaron vórtices de Taylor lo cual genera un efecto de reoespesamiento (Ting, 2016). Los vórtices de Taylor o vórtices toroidales aparecen a cierta velocidad crítica, debido a la inestabilidad del flujo rotatorio básico, superpuesto al movimiento circular primario en cilindros concéntricos (Figura 7).



**Figura 7.** Vórtices de Taylor para el flujo entre dos cilindros concéntricos. (a) vórtices de Taylor; (b) vórtices de Taylor ondulados; y (c) vórtices de Taylor turbulentos (Creado por H. Cen).

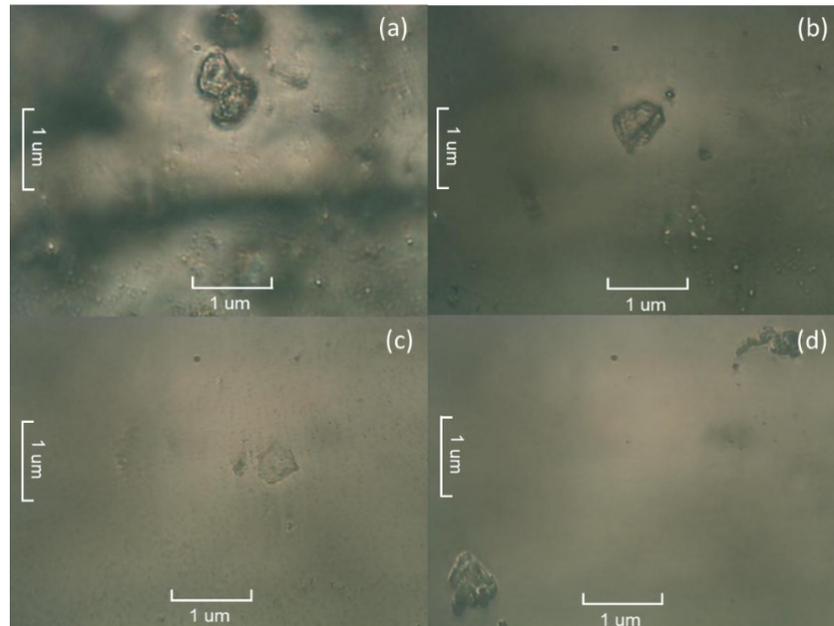
**Fuente:** Ting, D. (2016). Basics Of Engineering Turbulence, N.Y., E.U.A.: Academic Press.



**Figura 8.** Viscosidad aparente-tasa de corte como función de la concentración de goma de semilla de chirimoya (GSC) a 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 % p/p, pH 7 y  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

La viscosidad aparente de todas las dispersiones incrementó con el aumento de la concentración de goma de semilla de chirimoya de 0.5 % a 2.0 % p/p,

mostrando así un patrón de flujo similar para todas las dispersiones. De acuerdo con la Figura 9, esto se atribuye al mayor contenido de sólidos totales en la dispersión, lo que provoca un aumento de la viscosidad debido a una mayor restricción del movimiento intermolecular causado por fuerzas hidrodinámicas (Speers y Tung, 1986; Yeh et al., 2009).

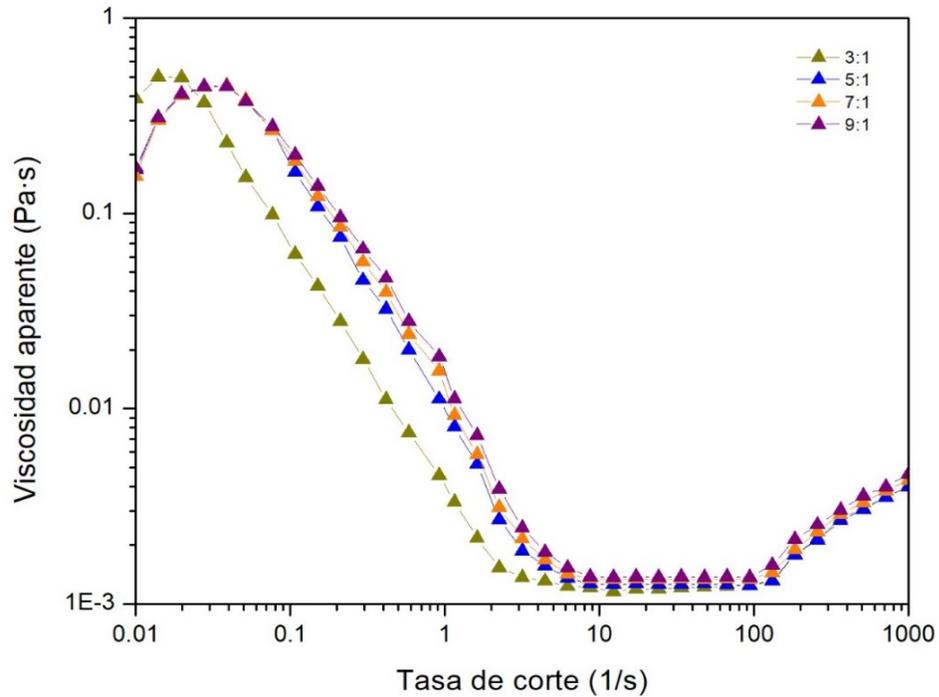


**Figura 9.** Micrografías ópticas de dispersiones de goma de semilla de chirimoya (GSC) a 0.5 (a), 1.0 (b), 1.5 (c) y 2.0 % p/p (d).

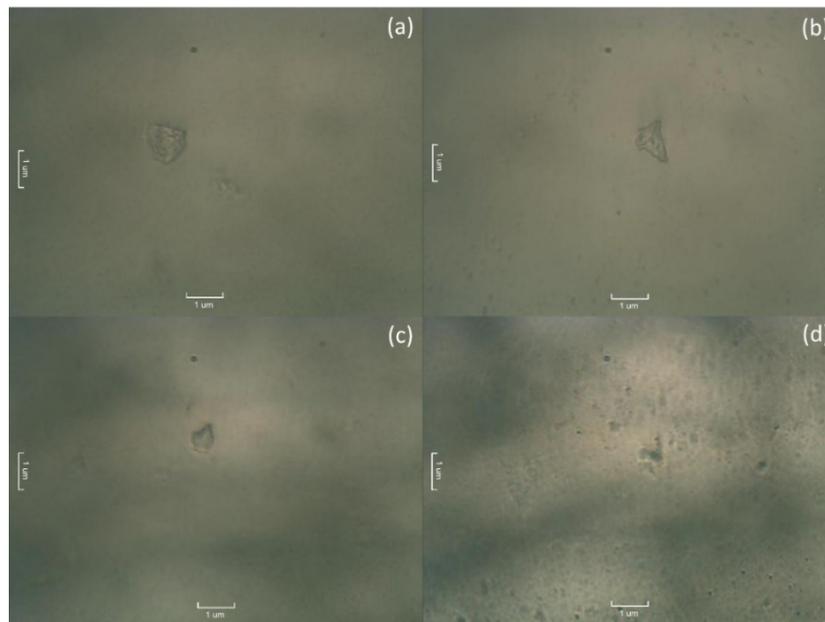
#### **Determinación de las propiedades de flujo a diferente pH**

La influencia del pH sobre la viscosidad aparente de las dispersiones de GSC se muestra en la Figura 10; donde se observa un ligero incremento en la viscosidad a bajas tasas de corte ( $10^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) debido al reacomodo de su estructura interna. Después, las dispersiones de GSC presentaron una pequeña zona newtoniana, seguido de un comportamiento de adelgazamiento por cizallamiento de  $10^{-1}$  a  $10^1 \text{ s}^{-1}$  para todas las dispersiones. A medida que incrementaba el pH de la dispersión (3.0 a 9.0) la viscosidad aumentaba, lo cual puede estar asociado con el incremento en la densidad de carga (Chen y Chen, 2001) originando una contracción de las moléculas de GSC (Figura 11), resultados similares fueron obtenidos por Alpizar-Reyes et al. (2017b) en goma de semilla de tamarindo (GST). En el rango de tasa de corte de  $10^1$  a  $10^2 \text{ s}^{-1}$  la viscosidad de las

dispersiones se aproximó al infinito; a partir de una tasa de corte de  $10^2 \text{ s}^{-1}$  se presentó un espesamiento por cizallamiento, congruente con el valor de índice de comportamiento de flujo ( $n > 1$ ).



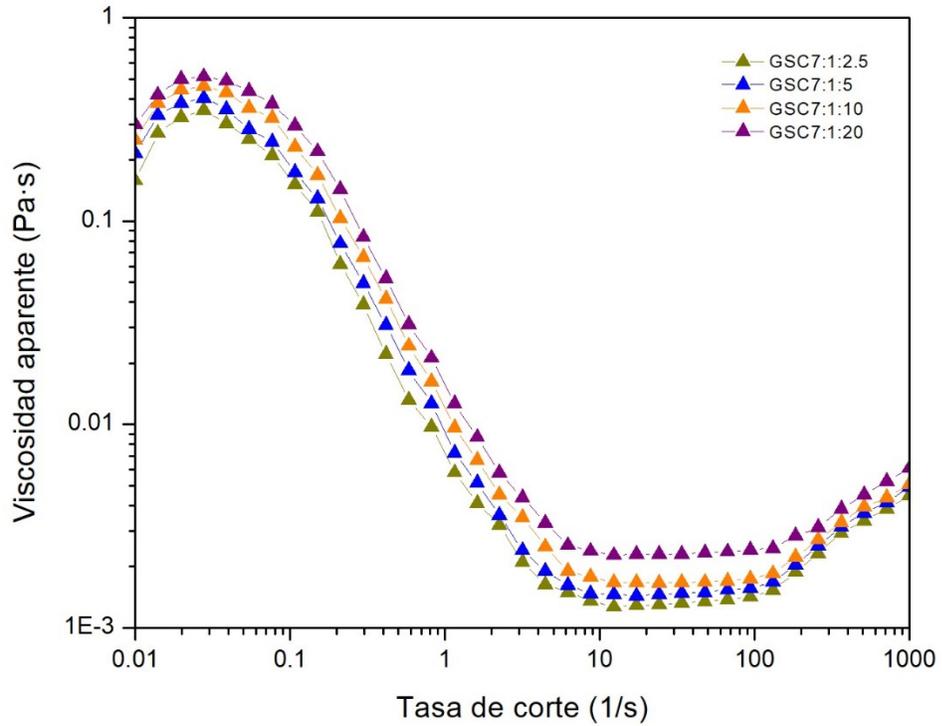
**Figura 10.** Dependencia de la viscosidad aparente-tasa de corte de dispersiones de goma de chirimoya (GSC) a 1.0 % p/p a valores de pH de 3, 5, 7 y 9 y  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ .



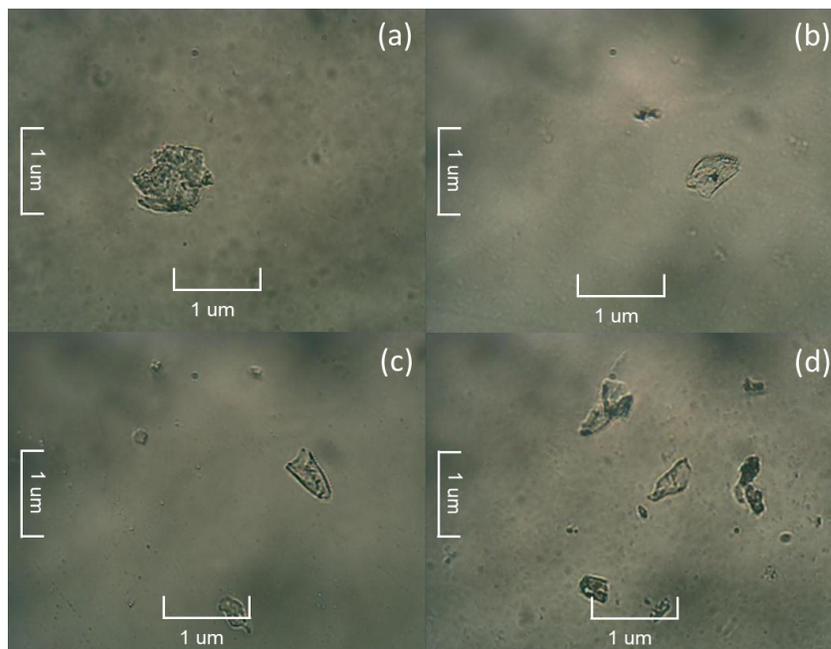
**Figura 11.** Micrografías ópticas de dispersiones de goma de semilla de chirimoya (GSC) al 1.0 % p/p a valores de pH 3 (a), 5 (b), 7 (c) y 9 (d).

### **Determinación de las propiedades de flujo a concentraciones de azúcar seleccionadas**

El aumento en la concentración de sacarosa mostró una influencia amplificadora en la viscosidad aparente de todas las dispersiones de GSC (Figura 12); sin embargo, el comportamiento general de flujo no se vio afectado, presentándose incrementos leves en los valores de viscosidad a bajas tasas de corte del orden  $10^{-2} \text{ s}^{-1}$  posiblemente debido a reajustes en la estructura interna de la GSC. Posteriormente, las dispersiones de GSC presentaron una pequeña zona newtoniana, a velocidades de tasa de corte dependientes de su composición, donde los valores de viscosidad fueron constantes. A partir de velocidades de corte de  $10^{-1}$  a  $10^1 \text{ s}^{-1}$  se presentó un adelgazamiento por cizallamiento; en el rango de  $10^1$  a  $10^2 \text{ s}^{-1}$  la viscosidad aparente de la GSC se aproximó al infinito, comportamiento característico en diversas soluciones de hidrocoloides (Behrouzian et al., 2013; Maskan y Gögüs, 2000; Al-Malah, 2000). Estos resultados son consistentes con los reportados en goma de semilla de berro (Behrouzian et al., 2013), goma de semilla de Balangu (Salehi et al., 2014) y goma de semilla de tamarindo (Crispín-Isidro et al., 2019). En la Figura 13 se observa una disminución en el tamaño de partícula de la GSC, resultado de una menor hidratación; Alpizar-Reyes et al. (2017b) mencionan que, aunque la sacarosa puede ser utilizada para mejorar la viscosidad de la fase acuosa, el disacárido puede reducir la hidratación de las moléculas del biopolímero lo que resultaría en una disminución de la viscosidad. Yousefi et al. (2016) informaron que una mejor sensación en la boca puede obtenerse al incrementar la viscosidad de los alimentos.



**Figura 12.** Viscosidad aparente-tasa de corte de dispersiones de goma de semilla de chirimoya a 1.0 % p/p en función de la concentración de sacarosa a 2.5, 5.0, 10.0 % p/v, pH 7 y  $20 \pm 2$  °C.



**Figura 13.** Micrografías ópticas de dispersiones de goma de semilla de chirimoya (GSC) a 1.0 % p/p, concentración de sacarosa de 2.5 (a), 5.0 (b), 10.0 (c) y 20.0 % p/v (d).

Los datos del esfuerzo cortante ( $\tau$ ) versus tasa de corte ( $\dot{\gamma}$ ) de las dispersiones de GSC a diferentes concentraciones, distintos valores de pH y disímil concentración de sacarosa se ajustaron a diferentes modelos matemáticos. El modelo de Herschel-Bulkley (Ecuación 3) fue el que mejor se ajustó a los datos experimentales ( $R^2$  superior 0.90) en todos los casos.

$$\tau = \tau_0 + k \cdot \dot{\gamma}^n$$

Ecuación 3

Donde  $\tau$  es el esfuerzo cortante (Pa),  $\tau_0$  es el límite elástico,  $k$  es el índice de consistencia ( $\text{Pa} \cdot \text{s}^n$ ),  $\dot{\gamma}$  es la tasa de corte ( $\text{s}^{-1}$ ) y  $n$  es el índice de comportamiento de flujo (adimensional) (Steffe, 1996). El parámetro  $n$  es un exponente adimensional y está relacionado con el índice de comportamiento de flujo, el cual representa qué tanto se acercan las dispersiones a un comportamiento newtoniano. Si  $n = 1$  se trata de flujo newtoniano,  $n < 1$  el fluido presenta un comportamiento de adelgazamiento al corte,  $n > 1$  el fluido presenta un comportamiento de espesamiento al corte (Rao, 2007; Erçelebi y Ibanoglu, 2009).

**Cuadro 13.** Parámetros de Herschel-Bulkley para dispersiones de GSC a diferente concentración de goma (0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 % p/p), diferente valor de pH (3, 5, 7 y 9) y diferente concentración de sacarosa (2.5, 5.0, 10.0 y 20.0 % p/v).

Tratamiento	Parámetros del modelo de Herschel-Bulkley			
	$\tau_0$ (Pa)	$k$ (Pa s <sup>n</sup> )	$n$ (-)	R <sup>2</sup>
GSC <sub>7:0.5</sub>	-0.0015 ± 0.000 <sup>a</sup>	7.47x10 <sup>-4</sup> ± 0.001 <sup>a</sup>	1.1572 ± 0.001 <sup>a</sup>	0.9075
GSC <sub>7:1.0</sub>	-0.0037 ± 0.001 <sup>b</sup>	0.0041 ± 0.001 <sup>b</sup>	0.7046 ± 0.007 <sup>b</sup>	0.9368
GSC <sub>7:1.5</sub>	-0.0024 ± 0.001 <sup>ab</sup>	0.0018 ± 0.001 <sup>ab</sup>	0.9616 ± 0.001 <sup>c</sup>	0.9863
GSC <sub>7:2.0</sub>	-0.0017 ± 0.001 <sup>ab</sup>	0.0023 ± 0.001 <sup>ab</sup>	0.8587 ± 0.000 <sup>d</sup>	0.9630
GSC <sub>3:1</sub>	8.72x10 <sup>-4</sup> ± 0.000 <sup>a</sup>	4.03x10 <sup>-4</sup> ± 0.000 <sup>a</sup>	1.2864 ± 0.003 <sup>a</sup>	0.9670
GSC <sub>5:1</sub>	-2.80x10 <sup>-5</sup> ± 0.001 <sup>b</sup>	1.89x10 <sup>-4</sup> ± 0.000 <sup>b</sup>	1.4752 ± 0.000 <sup>b</sup>	0.9115
GSC <sub>7:1</sub>	2.15x10 <sup>-5</sup> ± 0.000 <sup>c</sup>	2.18x10 <sup>-4</sup> ± 0.000 <sup>b</sup>	1.4492 ± 0.000 <sup>c</sup>	0.9169
GSC <sub>9:1</sub>	-8.01x10 <sup>-5</sup> ± 0.000 <sup>d</sup>	1.85x10 <sup>-4</sup> ± 0.000 <sup>b</sup>	1.4936 ± 0.000 <sup>d</sup>	0.9114
GSC <sub>7:1:2.5</sub>	-4.84x10 <sup>-5</sup> ± 0.000 <sup>ab</sup>	9.07x10 <sup>-5</sup> ± 0.000 <sup>a</sup>	1.6793 ± 0.000 <sup>a</sup>	0.9107
GSC <sub>7:1:5</sub>	-0.0016 ± 0.001 <sup>b</sup>	0.0016 ± 0.002 <sup>a</sup>	0.9888 ± 0.001 <sup>b</sup>	0.9950
GSC <sub>7:1:10</sub>	0.0011 ± 0.001 <sup>a</sup>	7.59x10 <sup>-4</sup> ± 0.000 <sup>a</sup>	1.2155 ± 0.001 <sup>c</sup>	0.9728
GSC <sub>7:1:20</sub>	0.0017 ± 0.000 <sup>a</sup>	8.70x10 <sup>-4</sup> ± 0.000 <sup>a</sup>	1.2643 ± 0.000 <sup>d</sup>	0.9755

Superíndices distintos entre bloques (concentración de goma, valor de pH y concentración de sacarosa) en la misma columna indican que las medias difieren significativamente ( $p \leq 0.05$ ). Datos indican media ± desviación estándar. GSC: dispersión de goma de semilla de chirimoya. Los códigos 7:0.5, 7:1.0, 7:1.5 y 7:2.0; 3:1, 5:1, 7:1 y 9:1, indican las condiciones de pH: concentración de biopolímero (% p/p).  $\tau_0$  = esfuerzo cortante;  $k$  = índice de consistencia;  $n$  = índice de comportamiento de flujo. Los códigos 7:1:2.5, 7:1:5, 7:1:10 y 7:1:20 indican las condiciones de pH: concentración de biopolímero (% p/p): concentración de sacarosa (% p/v).

Las dispersiones de goma de semilla de chirimoya a distinta concentración de goma, diferente valor de pH y distinta concentración de sacarosa presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en los valores de los parámetros del modelo de Herschel-Bulkley al que se ajustó su comportamiento de flujo (Cuadro 13). Comparando las dispersiones a diferente concentración, los datos indicaron que, en términos generales, GSC7:0.5 tenía menos consistencia y requería menos estrés para comenzar a fluir, además de exhibir una mayor desviación del flujo newtoniano. En cuanto a las dispersiones con valor de pH diferente indicaron que, en términos generales, GSC3:1 tenía mayor consistencia y requería mayor estrés para comenzar a fluir, además de exhibir una menor desviación del flujo newtoniano. Finalmente, las dispersiones a diferente concentración de sacarosa indicaron que, en términos generales, todas las dispersiones presentaban una consistencia similar pero la GSC7:1:20 requería mayor estrés para comenzar a fluir; además, todas las dispersiones presentaron valores menores de  $n < 1$  por lo que exhibieron un comportamiento de adelgazamiento al corte.

### **3.3.10. Conclusiones**

Se estableció el método para extraer goma de semilla de chirimoya (GSC), con un rendimiento de  $10.81 \pm 0.20\%$  (p/p), exhibiendo alto contenido en proteína ( $43.06 \pm 0.84\%$ ) y carbohidratos ( $49.84 \pm 0.04\%$ ), características que pueden contribuir a su aplicación en la estabilidad de emulsiones simples aceite-en-agua.

La GSC presentó un valor  $L^*$  ligeramente superior a 55 y una cromaticidad en el espectro amarillo-anaranjado, característica que puede ser aprovechada para alguna aplicación en la industria de alimentos.

La solubilidad máxima de la GSC ocurrió a un valor de pH 9 ( $14.40 \pm 0.14\%$ ), con el tamaño de partícula más pequeño ( $460.93 \pm 10.62$  nm).

Los resultados de calorimetría mostraron que la GSC es térmicamente estable, ocurriendo la pirólisis del polisacárido a una temperatura de  $290.32$  °C, muy por encima de temperaturas utilizadas comúnmente en aplicaciones prácticas de este tipo de gomas.

Las dispersiones de goma de semilla de chirimoya presentaron una región de meseta (comportamiento newtoniano,  $n = 1$ ) a tasas de corte muy bajas, seguido de un comportamiento de adelgazamiento por cizallamiento ( $n < 1$ ), una viscosidad aparente infinita y un comportamiento reoespesante ( $n > 1$ ) a tasas de corte mayores de  $100 \text{ s}^{-1}$ . El modelo de Herschel-Bulkley describió las propiedades de flujo de las dispersiones.

Incrementos en las concentraciones de GSC en la dispersiones aumentó la viscosidad y la pseudoplasticidad. A medida que se incrementa el valor de pH de 3 a 9, la viscosidad aparente de las dispersiones de GSC aumentó. La adición de sacarosa fue la variable que mayor efecto tuvo sobre la viscosidad aparente, existiendo una relación directamente proporcional.

Las semillas de chirimoya constituyen una alternativa para el manejo sustentable de desechos provenientes de la agroindustria de este fruto, de los cuales destaca el valor agregado que se les puede dar a través de la extracción de su goma. Esta última con potencial de uso en diversas aplicaciones en las industrias alimentaria y/o farmacéutica.

### 3.3.11. Literatura citada

- Al-Malah, K. (2000). Effect of glucose concentration on the rheological properties of wheat-starch dispersions. *Food Hydrocolloids*, 14 (5), 491–496. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(00\)00029-1](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(00)00029-1)
- Alpizar-Reyes, E., Carrillo-Navas, H. & Gallardo-Rivera, R. (2017a). Functional properties and physicochemical characteristics of tamarind (*Tamarindus indica* L.) seed mucilage powder as a novel hydrocolloid. *Journal of Food Engineering*, 209, 68-75. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.021>
- Alpizar-Reyes, E., Román-Guerrero, A., Gallardo-Rivera, R., Varela-Guerrero, V., Cruz-Olivares, J. & Pérez-Alonso, C. (2017b). Rheological properties of tamarind (*Tamarindus indica* L.) seed mucilage obtained by spray-drying as a novel source of hydrocolloid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 107 (A), 817-824. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.09.048>
- Amid, B. T. & Mirhosseini, H. (2012). Influence of different purification and drying methods on rheological properties and viscoelastic behaviour of durian seed gum. *Carbohydrate Polymers*, 90 (1), 452-461. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.05.065>
- Amirabadi, S., Milani, J. M. & Sohbatzadeh, F. (2020). Application of dielectric barrier discharge plasma to hydrophobically modification of gum arabic with enhanced Surface properties. *Food Hydrocolloids*, 104, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105724>
- Amoo, I. A., Emenike, A. E. & Akpambang, V.O. E. (2008). Compositional Evaluation of *Annona cherimoya* (Custard Apple) fruit. *Trends in Applied Science Research*, 3 (2), 216-220. <https://doi.org/10.3923/tasr.2008.216.220>
- Amoo, I. A., Emenike, A. E. & Akpambang, V. O. E. (2008). Compositional Evaluation of *Annona cherimoya* (Custard Apple) fruit. *Trends in Applied Science Research*, 3 (2), 216-220. <https://doi.org/10.3923/tasr.2008.216.220>
- Apolonio, I., Castañeda, A., Franco, O., Morales, E. J. & González, A. (2015). Influencia de la fuente de polen y su efectividad en la calidad de frutos de chirimoya (*Annona cherimola* Mill.). *Agronomía Costarricense*, 39 (1), 61-69.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2002). Official methods of analysis (17<sup>th</sup> ed.). Washington, E.U.A.: AOAC International.
- Avachat, A.M., Dash, R. R. & Shrotriya, S. N. (2011). Recent investigations of plant based natural gums and mucilages in novel drug delivery systems. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, 45, 86-89.
- Badui, S. (2006). Química de los alimentos. Estado de México, México: Pearson Educación.

- Bagul M., Sonawane, S. K. & Arya, S. S. (2015). Tamarind seeds: chemistry, technology, applications and health benefits: A review. *Indian Food Industry Magazine*, 34: 28-35.
- Bansal, J. & Kumar, N. (2013). Extraction and evaluation of tamarind seed polysaccharide as pharmaceutical In situ gel forming system. *American-Eurasian Journal of Scientific Research*, 9 (1), 1-5. <https://doi.org/10.5829/idosi.aejsr.2014.9.1.8259>
- Barreto, M., H., Dos Santos, C. H. C., Geraldo, M., Piler C. W. & García-Rojas, E. E. (2019). Physicochemical, thermal and rheological properties of synthesized carboxymethyl tara gum (*Caesalpinia spinosa*). *International Journal of Biological Macromolecules*, 134, 595-603. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.025>
- Behrouzian, F., Razavi, S. M. A. & Karazhiyan, H. (2013). The effect of pH, salts and sugars on the rheological properties of cress seed (*Lepidium sativum*) gum. *International Journal of Food Science & Technology*, 48 (13), 2506-2515. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12242>
- Cardoso, P. M., Dariva, C., Barroso, G. Â. & Hense, H. (2016). Extraction and evaluation of antioxidant potential of the extracts obtained from tamarind seeds (*Tamarindus indica*), sweet variety. *Journal of Food Engineering*, 173, 116-123. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.11.001>
- Cerqueira, M. A., Souza, B. W. S., Simões, J., Teixeira, J. A., Domingues, M. R. M., Coimbra, M. A. & Vicente, A. A. (2011). Structural and thermal characterization of galactomannans from non-conventional sources. *Carbohydrate Polymers*, 83 (1), 179-185. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.07.036>
- Chagas, B. S., Machad Jr., D. L. P., Haag, R. B., De Sousa, C. R. & Lucas, E. F. (2004). Evaluation of hydrophobically associated polyacrylamide-containing aqueous fluids and their potential use in petroleum recovery. *Journal of Applied Polymer Science*, 91 (6), 3686-3692. <https://doi.org/10.1002/app.13628>
- Chaplin, M. (2006). "Water Structure and Behavior: Guar Gum". Londres: London South Bank University
- Chen, R. H. & Chen, W.Y. (2001). Rheological properties of the water-soluble mucilage of a green laver, *Monostroma nitidum*. *Journal of Applied Phycology*, 13 (6), 481-488. <https://doi.org/10.1023/A:1012580604417>
- Cortés-Camargo, S., Gallardo-Rivera, R., Barragán-Huerta, B. E., Dublán-García, O., Román-Guerrero, A. & Pérez-Alonso, C. (2017). Exploring the Potential of Mesquite Gum-Nopal Mucilage Mixtures: Physicochemical and Functional Properties. *Journal of Food Science*, 83 (1), 113-121. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13937>
- Crispín-Isidro G., Hernández-Rodríguez, L., Ramírez-Santiago, C., Sandoval-Castilla, O., Lobato-Calleros, C. & Vernon-Carter, E. J. (2019). Influence of

- purification on physicochemical and emulsifying properties of tamarind (*Tamarindus indica* L.) seed gum. *Food Hydrocolloids*, 93, 402-412. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.02.046>
- Cuevas-Bernardino, J. C., Lobato-Calleros, C., Román-Guerrero, A., AlvarezRamirez, J., & Vernon-Carter, E. J. (2016). Physicochemical characterisation of hawthorn pectins and their performing in stabilising oil-in-water emulsions. *Reactive and Functional Polymers*, 103, 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2016.03.024>
- Cui, W., Mazza, G., Oomah, B. D. & Biliaderis, C. G. (1994). Optimization of an Aqueous Extraction Process for Flaxseed Gum by Response Surface Methodology. *Food Science and Technology*, 27 (4), 363-369. <https://doi.org/10.1006/fstl.1994.1074>
- Darby, R. & Chhabra, R. P. (2017). Chemical engineering fluid mechanics (3<sup>rd</sup> Ed). Florida, E.U.A.: CRC Press.
- Dos Santos, S. R., Norberto, M. V., Fortinele, L. L., Carvalho, N., Dos Santos, M., Silva-Filho, E. C., Pinheiro, M. & Braga, A. (2019). Sustainable natural gums for industrial application: Physicochemical and texturometric evaluation. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 54, 101306. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2019.101306>
- Erçelebi, E. A. & Ibanoglu, E. (2009). Characterization of phase separation behavior, emulsión stability, rheology, and microstructure of egg white-polysaccharide mixtures. *Journal of Food Science*, 74 (6), 506-512. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01252.x>
- Fathi M., Mohebbi, M. & Koocheki, A. (2016). Introducing *Prunus cerasus* gum exudates: chemical structure, molecular weight and rheological properties. *Food Hydrocolloids*, 61, 946-955. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.07.004>
- García-Salas, P., Gómez-Caravaca, A. M., Morales-Soto, A., Segura-Carretero, A. & Fernández-Gutiérrez, A. (2015). Identification and quantification of phenolic and other polar compounds in the edible part of *Annona cherimola* and its by-products by HPLC-DAD-ESI-QTOF-MS. *Food Research International*, 78, 246-257. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.10.002>
- Hamdani, A. M., Wani, I. A., Gani, A. & Bhat, N. A. (2018). Effect of gamma irradiation on the physicochemical and structural properties of plant seed gums. *International Journal of Biological Macromolecules*, 106, 507-515. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.08.045>
- Hosseini-Parvar, S. H., Matia-Merino, L., Goh, K. K. T., Razavi, S. M. A. & Mortazavi, S. A. (2010). Steady shear flow behavior of gum extracted from *Ocimum basilicum* L. seed: effect of concentration and temperatura. *Journal of Food Engineering*, 101 (3), 236-243. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.06.025>

- Jalikor, S. H. & Kumar, R. (2007). Pseudo-xenic Effect of Allied Annona spp. Pollen in Hand Pollination of cv. 'Arka Sahan' [(A. cherimola × A. squamosa) × A. squamosa]. *HortScience*, 42 (7), 1534-1538. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.7.1534>
- Kaewmanee, T., Bagnasco, L., Benjakul, S., Lanteri, S., Morelli, C. F., Speranza, G. & Cosulich, M. E. (2014). Characterisation of mucilages extracted from seven Italian cultivars of flax. *Food Chemistry*, 148, 60-69. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.022>
- Karazhiyan, H., Razavi, S. M. A. & Phillips, G. O. (2011). Extraction optimization of a hydrocolloid extract from cress seed (*Lepidium sativum*) using response surface methodology. *Food Hydrocolloids*, 25 (5), 915-920. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.08.022>
- Kaushik, P., Dowling, K., Adhikari, R., Barrow, C. J. & Adhikari, B. (2017). Effect of extraction temperature on composition, structure and functional properties of flaxseed gum. *Food Chemistry*, 215, 333-340. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.137>
- Koocheki, A., Taherian, A. R., Razavi, S. M. A. & Bostan, A. (2009). Response surface methodology for optimization of extraction yield, viscosity, hue and emulsion stability of mucilage extracted from *Lepidium perfoliatum* seeds. *Food Hydrocolloids*, 23 (8), 2369-2379. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.06.014>
- Martínez-Velasco, A., Lobato-Calleros, C., Hernández-Rodríguez, B. E., Román-Guerrero, AN, Alvarez-Ramirez, J. & Vernon-Carter, E. J. (2018). High intensity ultrasound treatment of faba bean (*Vicia faba* L.) protein: Effect on surface properties, foaming ability and structural changes. *Ultrasonic Sonochemistry*, 44, 97-105. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.02.007>
- Maskan, M. & Gögüs, F. (2000). Effect of sugar on the rheological properties of sunflower oil water emulsions. *Journal of Food Engineering*, 43 (3), 173–177. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00147-8](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00147-8)
- Mathur, N. K. (2012). Industrial Galactomannan Polysaccharides. Boca Raton: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11107>
- Mondragón, P. (2017). Espectroscopia de infrarrojo para todos ...y 51 espectros de alimentos consumidos en México. Jalisco, México: CIATEJ.
- Mudgil, D., Sheweta, B. & Khatkar, B. S. (2012). X-ray diffraction, IR spectroscopy and thermal characterization of partially hydrolyzed guar gum. *International Journal of Biological Macromolecules*, 50, 1035-1039. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2012.02.031>
- Nagajothi, M. S., Balasubramanian, A. & Thombare, N. (2017). Effect of different seed sources on tamarind kernel powder and seed gum yield. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6, 318-323. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.607.037>

- Pawar, H. A. & Lalitha, K. G. (2014). Isolation, purification and characterization of galactomannans as an excipient from Senna tora seeds. *International Journal of Biological Macromolecules*, 65, 167-175. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.01.026>
- Perfectti, F. & Pascual, L. (2005). Genetic Diversity in a Worldwide Collection of Cherimoya Cultivars. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 52 (7), 959-966. <https://doi.org/10.1007/s10722-003-6093-6>
- Phimolsiripol Y., Siripatrawan, U. & Henry, C. J. K. (2011). Pasting behaviour, textural properties and freeze-thaw stability of wheat flour-crude malva nut (*Scaphium scaphigerum*) gum system. *Journal of Food Engineering*, 105, 557-562. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.03.022>
- Pollard, M. A., Kelly, R., Wahl, C., Fischer, P., Windhab, E., Eder, B. & Amadó, R. (2007). Investigation of equilibrium solubility of a carob galactomannan. *Food Hydrocolloids*, 21 (5-6), 683-692. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.08.010>
- Quílez, A. M., Fernández-Arche, M. A., García-Giménez, M. D. & De la Puerta, R. (2018). Potential therapeutic applications of the genus Annona: Local and traditional uses and pharmacology. *Journal of Ethnopharmacology*, 225, 244-270. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.06.014>
- Rao, M. A. (2007). Rheology of fluid and semisolid foods. Principles and applications, (2<sup>nd</sup> ed.). NY., E.U.A.: Springer Science & Business Media LLC.
- Rincón, F., Muñoz, J., Ramírez, P., Galán, H. & Alfaro, M. C. (2014). Physicochemical and rheological characterization of Prosopis juliflora seed gum aqueous dispersions. *Food Hydrocolloids*, 35, 348-357. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.06.013>
- Salehi, F., Kashaninejad, M. & Behshad, V. (2014). Effect of sugars and salts on rheological properties of Balangu seed (*Lallemantia royleana*) gum. *International Journal of Biological Macromolecules*, 67, 16-21. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.03.001>
- Scheldeman, P., Van Damme, J., Romero-Motoche & Urena-Alvarez, J. V. (2006). Germplasm collection and fruit characterisation of cherimoya (*Annona cherimola*) in Loja Province, Ecuador, an important centre of biodiversity. *Belgian Journal of Botany*, 139 (1), 27-38. <https://doi.org/10.2307/20794592>
- Sepúlveda E., Sáenz, C., Aliaga, E. & Aceituno, C. (2007). Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of Arid Environments*, 68, 534-545. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.08.001>
- Singthong, J., Ningsanond, S. & Cui, S. W. (2009). Extraction and physicochemical characterisation of polysaccharide gum from Yanang (*Tiliacora triandra*) leaves. *Food Chemistry*, 114 (4), 1301-1307. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.008>

- Speers, R. A. & Tung, M. A. (1986). Concentration and Temperature Dependence of Flow Behavior of Xanthan Gum Dispersions. *Journal of Food Science*, 51 (1), 96-98. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1986.tb10844.x>
- Steffe, J. F. (1996). Rheological methods in foods process engineering. NY., E.U.A.: Freeman Press.
- Timilsena, Y.P., Wang, B., Adhikari, R. & Adhikari, B. (2016). Preparation and characterization of chia seed protein isolate-chia seed gum complex coacervates. *Food Hydrocolloids*, 52, 554-563. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.07.033>
- Ting, D. S. K. (2016). Basics of Engineering turbulence. N.Y., E.U.A.: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803970-0.00001-5>
- Trujillo-Ramírez, D., Lobato-Calleros, C., Román-Guerrero, A., Hernández-Rodríguez, L., Alvarez-Ramirez, J. & Vernon-Carter, E. J. (2018). Complexation with whey protein hydrolysate improves cacao pods husk pectin surface active and emulsifying properties. *Reactive and Functional Polymers*, 123, 61-69. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2017.12.011>
- Van Damme, P. & Scheldeman, X. (2013). El fomento del cultivo de la chirimoya en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Recuperado de <http://www.fao.org/3/x2450s/x2450s09.htm#el%20fomento%20del%20cultivo%20de%20la%20chirimoya%20en%20am%C3%A9rica%20latina>. Consultado el 17 de noviembre de 2020.
- Vendruscolo, C. W., Ferrero, C., Pineda, E. A. G., Silveira, J. L. M., Freitas, R. A., Jiménez-Castellanos, M. R. & Bresolin, T. M. B. (2009). Physicochemical and mechanical characterization of galactomannan from Mimosa scabrella: Effect of drying method. *Carbohydrate Polymers*, 76, 86-93. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.09.028>
- Vidal, H. L., López M., Vidal, N. A., Ruiz, B., Castillo, R. y Chiquito, C. (2014). La situación de las *Annonaceae* en México: principales plagas, enfermedades y su control. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36, 044-054.
- Yeh, A.-I., Chan, T.-Y & Chuang, G. C.-C. (2009). Effect of water content and mucilage on physico-chemical characteristics of Yam (*Discorea alata* Purpurea) starch. *Journal of Food Engineering*, 95 (1), 106-114. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.04.014>
- Yousefi, A. R., Eivazlou, R. & Razavi, S. M. A. (2016). Steady shear flow behavior of sage seed gum affected by various salts and sugars: time-independent properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 91, 1018–1024. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.06.046>