

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA Y FUNCIONAL DEL
HIDROCOLOIDE DE LAS SEMILLAS DEL CHAN (*Hyptis suaveolens*)**

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa de
Estudios de Posgrado en Ciencia de Alimentos para optar al grado y título
de Maestría Académica en Ciencia de Alimentos

EDUARDO THOMPSON VICENTE

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2020

DEDICATORIA

A Dios, Nuestro Señor, por sus dones
A la memoria de mis padres Eduardo y Vina

*Bendice, alma mía, al Señor,
y todo mi ser a su Nombre santo.
Bendice, alma mía, al Señor,
no olvides ninguno de sus beneficios.
Él es quien perdona tus culpas,
quien sana tus enfermedades.
Quien rescata tu vida de la fosa,
quien te corona de misericordia y compasión.
Quien sacia de bienes tu existencia:
como el águila se renovará tu juventud.*

Salmo 103

AGRADECIMIENTOS

A Alicia, Giselle y Pedro, integrantes de mi Comité Asesor, por su paciencia y dedicación en la revisión de este documento

“Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencia de Alimentos de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Académica en **Ciencia de Alimentos**”



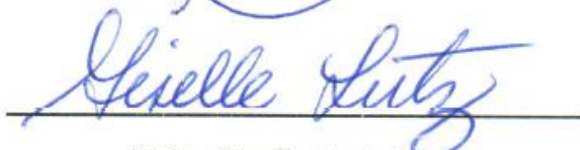
Dra. Patricia Esquivel Rodríguez
**Representante del Decano
Sistema de Estudios de Posgrado**



M.Sc. Alicia Hernández Peñaranda
Directora de Tesis



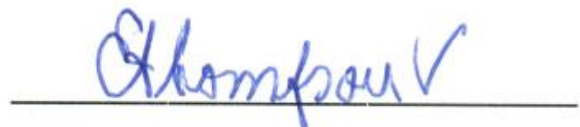
M.Sc. Pedro Vargas Aguilar
Asesor



M.Sc. Giselle Lutz Cruz
Asesora



M.Sc. Lea Wexler Goering
**Representante de la Directora
Programa de Posgrado en Ciencia de Alimentos**



Eduardo Thompson Vicente
Sustentante

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
HOJA DE APROBACIÓN	iv
TABLA DE CONTENIDO	v
RESUMEN.....	x
LISTA DE CUADROS.....	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
LISTA DE ABREVIATURAS	xvi
DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL.....	xvii
1. Justificación.....	1
2. Objetivos	6
2.1. Objetivo general	6
2.2. Objetivos específicos	6
3. Marco Teórico	7
3.1. El chan.....	7
3.1.1. Descripción botánica y taxonómica.....	7
3.1.2. La planta del chan	8
3.1.3. Semilla del chan	9
3.1.3.1. Mixospermia.....	10
3.1.3.2. Uso de la semilla como alimento.....	11
3.2. Hidrocoloides.....	12
3.2.1. Propiedades y funcionalidad de los hidrocoloides	15
3.2.2. Propiedades benéficas para la salud.....	18

3.3. Extracción de los hidrocoloides.....	19
3.3.1. Variables de extracción.....	20
3.3.1.1. Temperatura	20
3.3.1.2. Relación agua/semilla (Ras)	21
3.3.1.3. Tiempo de extracción.....	22
3.3.1.4. pH	22
3.3.1.5. Agitación.....	22
3.3.2. Separación del mucílago	22
3.3.3. Purificación	23
3.3.4. Secado.....	23
3.4. Reología.....	24
3.4.1. Propiedades reológicas.....	24
3.4.2. Comportamiento reológico	26
3.4.2.1. Efecto de la temperatura en la viscosidad	29
3.4.2.2. Efecto del pH en la viscosidad de hidrocoloides.....	30
3.4.2.3. Efecto de solutos en la viscosidad de hidrocoloides	31
3.4.3. Viscoelasticidad	32
3.4.4. Determinación de las propiedades reológicas.....	33
3.5. Propiedades de textura	35
4. Materiales y métodos.....	36
4.1. Localización del proyecto	36
4.2. Materia prima	36
4.3. Composición proximal	36
4.3.1. Composición de las semillas de chan	36

4.3.2. Composición del hidrocoloide del chan	37
4.4. Cinéticas de hidratación de las semillas de chan	38
4.5. Condiciones de extracción del hidrocoloide del chan	39
4.5.1. Diseño experimental.....	39
4.6. Perfil reológico de las dispersiones del hidrocoloide del chan.....	41
4.6.1. Preparación de las dispersiones.....	41
4.6.2. Determinación de las propiedades reológicas.....	42
4.6.3. Efecto de la concentración en el comportamiento reológico.....	43
4.6.4. Efecto de la temperatura en el comportamiento reológico.....	43
4.6.5. Efecto del pH en el comportamiento reológico.....	43
4.6.6. Efecto de presencia de solutos en el comportamiento reológico.	44
4.6.7. Comparación del comportamiento reológico de dispersiones del hidrocoloide del chan respecto al de dispersiones de gomas xantán, guar y carboximetilcelulosa.....	44
4.6.8. Evaluación del comportamiento viscoelástico	44
4.6.8.1. Barrido de amplitud	45
4.6.8.2. Barrido de frecuencia	45
4.7. Propiedades de textura: ensayo de extrusión reversa.....	45
4.8. Evaluación de las propiedades funcionales de dispersiones del hidrocoloide del chan	46
4.8.1. Capacidad de retención de agua (CRA).....	46
4.8.2. Solubilidad (S)	47
4.8.3. Capacidad de adsorción de grasa (CAG).....	47
4.8.4. Capacidad de hinchamiento (CH)	48
4.8.5. Capacidad emulsificante (CE)	48

4.8.6. Estabilidad de la emulsión (EE).....	49
4.9. Métodos de análisis químico.....	49
4.9.1. Determinación del contenido de humedad.....	49
4.9.2. Determinación del contenido de proteína	50
4.9.3. Determinación del contenido de grasa.....	50
4.9.4. Determinación de composición de los ácidos grasos	50
4.9.5. Determinación del contenido de cenizas	50
4.9.6. Determinación del contenido de fibra total.....	51
4.9.7. Carbohidratos totales	51
4.9.8. Azúcares simples	51
5. Resultados y discusión	52
5.1. Composición proximal de la semilla de chan.....	52
5.2. Cinética de hidratación de las semillas.....	54
5.3. Evaluación de las condiciones de extracción del hidrocoloide	55
5.3.1. Efecto del proceso de separación del hidrocoloide en el rendimiento.....	59
5.4. Composición proximal del hidrocoloide del chan.....	63
5.5. Perfil reológico del hidrocoloide del chan.....	65
5.5.1. Efecto de la concentración en el comportamiento reológico.....	65
5.5.2. Efecto de la temperatura en el comportamiento reológico.....	72
5.5.3. Efecto del pH en el comportamiento reológico.....	74
5.5.4. Efecto de la concentración de solutos en el comportamiento reológico	78
5.5.4.1. Efecto de la concentración de sacarosa	78
5.5.4.2. Efecto de la concentración de las sales NaCl y CaCl ₂	79

5.5.5. Comportamiento viscoelástico del hidrocoloide del chan	83
5.5.5.1. Barrido de amplitud	83
5.5.5.2. Barrido de frecuencia	85
5.5.6. Comparación del comportamiento reológico del hidrocoloide del chan, respecto a dispersiones de gomas xantán y guar y de carboximetilcelulosa.....	88
5.5.6.1. Reogramas de viscosidad/velocidad de corte.....	88
5.5.6.2. Comparación de las propiedades de textura	90
5.6. Propiedades funcionales del hidrocoloide del chan	92
6. Conclusiones	95
7. Recomendaciones	96
8. Referencias.....	97

RESUMEN

Thompson Vicente, Eduardo

Extracción y caracterización reológica y funcional del hidrocoloide de las semillas del chan (*Hyptis suaveolens*)

Tesis de maestría académica en Ciencia de Alimentos. San José, Costa Rica

Thompson, E. 2020 128 p. 22 il. 145 ref.

El chan (*Hyptis suaveolens* (L.) Poit) es un arbusto cuyas semillas al remojarse en agua forman un mucílago viscoso, compuesto por un hidrocoloide que presenta una gran capacidad de absorción de agua, con potencial para ser utilizado para modificación de las propiedades reológicas y de textura en productos alimenticios. En el presente trabajo se evaluaron las condiciones de extracción (relación agua/semillas, temperatura y tiempo) que brindan un buen rendimiento del hidrocoloide seco, y se analizó el perfil reológico y las propiedades funcionales de sus dispersiones.

Se evaluó el comportamiento de las propiedades reológicas de dispersiones del hidrocoloide de chan (HCH) en función de la concentración, temperatura, pH y presencia de solutos, se analizó su comportamiento viscoelástico por reometría oscilatoria, y, se determinaron sus propiedades funcionales. Se comparó el comportamiento reológico el HCH y sus propiedades de textura en el ensayo de extrusión reversa respecto al presentado por dispersiones de gomas xantán y guar y carboximetilcelulosa.

La semilla de chan presenta un importante contenido de proteína (20,4 %), grasa (20,4 %), y de carbohidratos (54,5 %), y muestra alta capacidad de absorción de agua (27 g /g semilla), cuya cinética de hidratación se describe con el modelo de Peleg. Con un escalamiento a nivel piloto del proceso desarrollado, la extracción del HCH se realizó de forma eficaz con un rendimiento de $10,7 \pm 0,6$ g HCH seco/100 g semilla. El hidrocoloide seco obtenido posee un alto contenido de carbohidratos (97,2 %) y una baja cantidad de proteínas y de cenizas, lo cual indica un buen nivel de pureza.

Las dispersiones del HCH de concentración 0,2-2,0 % presentan un comportamiento reológico no newtoniano de tipo pseudoplástico, descrito por los modelos Ostwald-de Waele y Herschel-Bulkley. La viscosidad aparente de las dispersiones disminuye al aumentar la temperatura, comportamiento que obedece a un modelo tipo ecuación de Arrhenius. La modificación de la fuerza iónica del medio por

presencia de sales iónicas de sodio o calcio o por pH bajos (3-4) provoca una reducción en la viscosidad de las dispersiones. El análisis dinámico oscilatorio revela la naturaleza viscoelástica de las dispersiones al 2 % del HCH y su comportamiento reológico de gel débil. La viscosidad aparente de una dispersión del HCH al 1 % es menor a la presentada por dispersiones de goma guar o xantán. Sin embargo, las propiedades de textura en el ensayo “back extrusion” son mayores que por las gomas comerciales. El HCH presenta una alta capacidad de retención de agua y de hinchamiento que indican su posible uso funcional como agente espesante.

Palabras clave: chan, extracción, hidrocoloide, *Hyptis suaveolens*, reología, propiedades funcionales,

M.Sc. Alicia Hernández

Posgrado en Ciencia de Alimentos

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Origen y componentes de diferentes tipos de hidrocoloides	13
Cuadro 2. Parámetros de extracción para diferentes tipos de mucílagos de semillas.	21
Cuadro 3. Variables independientes del DCCR empleadas para evaluar las condiciones de extracción del HCH.	39
Cuadro 4. Valores de las variables de extracción de las corridas del diseño central compuesto utilizado en las extracciones.....	40
Cuadro 5. Composición de dispersiones 1 g HCH/100 g para evaluar el efecto de presencia de sales y azúcares.....	44
Cuadro 6. Condiciones de medición de la prueba de extrusión reversa.	45
Cuadro 7. Composición proximal de semillas mucilaginosas.....	52
Cuadro 8. Composición de los ácidos grasos presentes en aceite de la semilla de chan y otros aceites comestibles.	53
Cuadro 9. Parámetros estadísticos de ajuste y bondad de las cinéticas de hidratación respecto al modelo de Peleg.....	55
Cuadro 10. Rendimientos de extracción del hidrocoloide del chan obtenidos en los tratamientos del diseño central compuesto de tres factores.....	56
Cuadro 11. Parámetros estadísticos de ajuste y bondad de los resultados del diseño central compuesto.	57
Cuadro 12. Rendimientos de separación del mucílago y de extracción del hidrocoloide del chan obtenidos en equipo separador a nivel piloto	62
Cuadro 13. Composición proximal de hidrocoloides de semillas mucilaginosas.	64
Cuadro 14. Efecto de la concentración del HCH en los parámetros reológicos del modelo de Ostwald-de Waele en el rango $\gamma = 0,1-1000 \text{ s}^{-1}$ a $25 \text{ }^\circ\text{C}$	67

Cuadro 15. Parámetros de ajuste de la viscosidad aparente y el índice de consistencia en función de la concentración, al modelo de ley de potencia, para $\gamma = 100 \text{ s}^{-1}$, $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	68
Cuadro 16. Efecto de la concentración del HCH en los parámetros reológicos del modelo de Herschel-Bulkley a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ en el rango $\gamma = 0,1-1000 \text{ s}^{-1}$	69
Cuadro 17. Comparación de los valores de los índices de flujo y consistencia para hidrocoloides de diferentes semillas.....	71
Cuadro 18. Parámetros del modelo Arrhenius de viscosidad aparente a $\gamma = 50 \text{ s}^{-1}$ en función de la temperatura, de dispersiones de HCH a diferentes concentraciones.....	73
Cuadro 19. Índices de flujo y consistencia del modelo Ostwald-de Waele de dispersiones al 0,5 % de HCH para diferentes pH en el rango $\gamma = 1-1000 \text{ s}^{-1}$ a $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$	77
Cuadro 20. Índices de flujo y consistencia del modelo Ostwald-de Waele de dispersiones al 0,5 % de HCH para diferentes concentraciones de sacarosa a $T = 20^\circ\text{C}$ en el rango $\gamma = 1-1000 \text{ s}^{-1}$	78
Cuadro 21. Índices de flujo y consistencia del modelo Ostwald-de Waele de dispersiones al 0,5 % de HCH para diferentes concentraciones de NaCl y CaCl ₂ a $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. en el rango $\gamma = 1-1000 \text{ s}^{-1}$	80
Cuadro 22. Parámetros de regresión de un modelo de potencia aplicados a las variables dinámicas de comportamiento viscoelástico.	87
Cuadro 23. Comparación de los índices de flujo y consistencia del modelo Ostwald-de Waele de dispersiones al 1 % de HCH y de hidrocoloides comerciales a $T = 20^\circ\text{C}$	89
Cuadro 24. Parámetros de textura obtenidos del ensayo de extrusión reversa para dispersiones del hidrocoloide de chan, gomas xantán, guar y carboximetilcelulosa. ...	91
Cuadro 25. Propiedades funcionales del hidrocoloide del chan.	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. a) Partes de la planta del chan, b) Fruto y semillas del chan.....	8
Figura 2. Imagen microscópica de una semilla con su cobertura mucilaginosa hidratada, teñida con azul de metileno,.....	10
Figura 3. Tipos de comportamiento reológico,.....	26
Figura 4. Comportamiento reológico de los diferentes tipos de fluidos.....	29
Figura 5. a) Reómetro rotacional Anton Paar MCR51 (b) disposición cono y plato.....	34
Figura 6. a) Texturómetro TA.XT en prueba de extrusión reversa. b) Gráfica fuerza-tiempo de una prueba de extrusión reversa.....	35
Figura 7. a) Tamiz con semillas de chan, b) Semillas de chan hidratadas en el tamiz con agua.....	38
Figura 8. Extracción del HCH a nivel de planta piloto: a) dispersión de la semilla en la marmita b) obtención del mucílago en separador.....	42
Figura 9. Cinética de hidratación promedio de las semillas de chan a 22 °C, con su error típico a un intervalo de confianza al 95 %.....	54
Figura 10. Relación entre el rendimiento experimental y el predicho de la extracción del hidrocoloide del chan.....	58
Figura 11. Equipo empleado en la separación del mucílago de las semillas del chan para las corridas del diseño experimental.....	60
Figura 12. Proceso de obtención del hidrocoloide del chan en polvo.....	63
Figura 13. Reogramas de esfuerzo en función de la velocidad de cizalla para dispersiones de diferentes concentraciones del hidrocoloide de chan a 25 °C.....	65
Figura 14. Curvas de flujo de dispersiones del hidrocoloide del chan a diferentes concentraciones a 25°C.....	66
Figura 15. Variación de la viscosidad aparente de dispersiones de HCH a diferentes concentraciones en función de la temperatura, $\gamma = 50 \text{ s}^{-1}$	72

Figura 16. Comportamiento del esfuerzo de corte (a) y de la viscosidad (b) en función de la velocidad de corte de dispersiones al 1 % de HCH para diferentes pH a 20 °C. ...	75
Figura 17. Índice de consistencia de dispersiones de HCH al 1 % a diferentes valores de pH a 20 °C	77
Figura 18. Viscosidad de dispersiones de HCH al 0,5 % en presencia de diferentes solutos en función de la velocidad de corte a 20 °C.....	81
Figura 19. Comportamiento de los módulos G' y G'' de un barrido de deformación (a) y de esfuerzo corte (b) para $\omega = 10$ rad/s de una dispersión al 2 % de HCH a 20 °C.	83
Figura 20. Comportamiento de los módulos G' y G'' y viscosidad compleja (η^*) para un barrido de frecuencia a $\gamma = 1$ % de una dispersión al 2 % de HCH a 20 °C.....	85
Figura 21. Curvas de flujo para dispersiones al 1 % del hidrocoloide de chan, gomas xantán y guar y de carboximetilcelulosa a 20 °C.....	88
Figura 22. Comportamiento de textura en ensayo “back extrusion” de dispersiones al 1 % de los hidrocoloides de chan, gomas xantán, guar y carboximetilcelulosa.	90

LISTA DE ABREVIATURAS

bs	base seca	P_s	masa del residuo seco (g)
% C	porcentaje de cenizas (g/100 g)	p_{fa}	probabilidad de falta de ajuste
CAG	capacidad de adsorción de grasa (g aceite/g masa seca)	p_{modelo}	probabilidad del modelo
CE	capacidad emulsionante (mL emulsión/mL dispersión)	R	constante universal de los gases (8 314 J/mol K)
CH	capacidad de hinchamiento (mL/g producto)	R^2	Coefficiente de determinación
CMC	carboximetilcelulosa	R^2_{adj}	Coefficiente de determinación ajustado
CRA	capacidad de retención de agua (g agua/g masa seca)	R_{as}	Relación agua/sustrato (g/g)
E_a	energía de activación (kJ/mol)	R_E	Rendimiento de extracción (g/g)
EE	estabilidad de la emulsión (mL emulsión/mL dispersión)	S	solubilidad (g/100 g HCH)
G	módulo de cizalla (Pa)	T	temperatura (°C, K)
% G	porcentaje de grasa (g/100 g)	t	tiempo (s)
G'	módulo de almacenamiento (Pa)	w_f	masa producto seco final (g)
G''	módulo de pérdida (Pa)	α	Intervalo de confianza
GG	goma guar	γ	deformación (%)
GX	goma xantán	γ_c	deformación crítica (%)
% H	porcentaje de humedad (g/100 g)	$\dot{\gamma}$	velocidad de corte o cizalla (s^{-1})
HB	Herschel-Bulkley	δ	ángulo de cambio de fase o de pérdida
HCH	hidrocoloide del chan	η_a	viscosidad aparente (Pa s)
K	índice de consistencia ($Pa s^n$)	η^*	viscosidad dinámica compleja (Pas)
K_1	constante velocidad de (min)	η_o	constante de proporcionalidad (Pa s)
K_2	constante capacidad de Peleg (adim)	η_∞	viscosidad fuerza iónica infinita (Pa s)
K_H	índice consistencia de Herschel-Bulkley ($Pa s^n$)	θ	tiempo de extracción (min)
M	contenido de humedad (g)	μ	viscosidad (Pa s)
M_0	contenido de humedad inicial (g)	σ_0	esfuerzo viscoelástico (Pa)
m_i	masa inicial (g)	τ	esfuerzo de corte (Pa)
n	índice de flujo (adimensional)	τ_f	esfuerzo de flujo (Pa)
n_H	índice de flujo del modelo HB (adim)	τ_o	punto de fluencia (Pa)
OdW	Ostwald-de Waele	τ_y	esfuerzo crítico (Pa)
% P	porcentaje de proteína (g/100 g)	ω	frecuencia de oscilación (rad/s)
P_h	masa del residuo centrifugado (g)		

DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Este trabajo posee un nivel de confidencialidad parcial, pues se determinaron condiciones de proceso con una potencial aplicación comercial. Por lo tanto, estas condiciones se presentan de forma codificada.



Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.

Yo, Eduardo Thompson Vicente, con cédula de identidad 1-0523-0501, en mi condición de autor del TFG titulado EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA Y FUNCIONAL DEL HIDROCOLOIDE DE LAS SEMILLAS DEL CHAN (Hyptis suaveolens)

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI NO *

*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: _____ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE:

Nombre Completo: Eduardo Thompson Vicente

Número de Carné: 763764 Número de cédula: 1-0523-0501

Correo Electrónico: eduardo.thompson@ucr.ac.cr

Fecha: 28 de noviembre del 2020 Número de teléfono: 8360-7361

Nombre del Director (a) de Tesis o Tutor (a): M.Sc. Alicia Hernández Peñaranda

EDUARDO ENRIQUE THOMPSON VICENTE (FIRMA) Firmado digitalmente por EDUARDO ENRIQUE THOMPSON VICENTE (FIRMA) Fecha: 2020.11.26 10:54:06 -06'00'

FIRMA ESTUDIANTE

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

1. Justificación

Los hidrocoloides son un grupo de polisacáridos o proteínas que se utilizan en diversas aplicaciones en alimentos como el espesamiento y gelificación de productos, la estabilización de espumas, emulsiones y dispersiones, la inhibición de formación de cristales y la liberación controlada de sabores y aromas (Phillips y Williams, 2009). Su funcionalidad se basa en su gran capacidad de absorción de agua y en que forman dispersiones de gran viscosidad aún en concentraciones pequeñas.

Existen semillas como la chía, la linaza, el psyllium o el chan que en contacto con el agua forman una capa mucilaginosa externa. Estos mucílagos están compuestos por polisacáridos hidrofílicos con capacidad de absorber grandes cantidades de agua (Rupérez y Bravo, 2001) y que producen soluciones muy viscosas a bajas concentraciones (BeMiller, 2008). Los mucílagos se consideran como hidrocoloides debido al gran tamaño de su macromolécula en comparación con el tamaño de las moléculas de agua (Doublier y Cuvelier, 2006). Este término es apropiado porque estos compuestos de alto peso molecular no forman verdaderas soluciones, sino dispersiones poliméricas hidratadas, cuyo tamaño de partícula se encuentra en el rango de los coloides (BeMiller, 2008).

La alta capacidad de absorción agua y de formar dispersiones viscosas que posee los hidrocoloides es la base de su amplio uso para el control y modificación de propiedades reológicas y de textura en productos alimenticios, tanto líquidos como semisólidos (Rupérez y Bravo, 2001; Ramsden, 2004). Dentro de la variedad de aplicaciones que desempeñan los hidrocoloides en el procesamiento de alimentos, se pueden citar las siguientes: espesantes, estabilizantes de emulsiones o espumas, gelificantes, emulsificantes, inhibidores de sinéresis o cristalización, antiespumantes, agentes de textura, encapsulación o de liberación controlada de ingredientes (Rupérez y Bravo, 2001; Doublier y Cuvelier, 2006; Phillips y Williams, 2009). Además, también presentan un amplio rango de aplicaciones en otras áreas de la industria como la farmacéutica, cosmética, papel y recubrimientos (Prajapati *et al.*, 2013; Barak *et al.*, 2020).

Entre los hidrocoloides de uso más extendido en la industria de alimentos, que han dominado el mercado global en los últimos 50 años, se encuentran el almidón, la gelatina, las pectinas, los galactomananos (gomas guar y algarrobo), la goma arábiga, extractos de algas marinas como los alginatos y carragenatos y las obtenidas de fuentes microbianas como la goma xantán (Ramsden, 2004).

En los últimos años, los hidrocoloides han recibido atención debido a que se clasifican como fibra dietética y, por ello, se emplean para aumentar el contenido de este nutriente en los alimentos. Existen diferentes beneficios a la salud asociados al consumo de alimentos formulados con hidrocoloides por su efecto laxante y saciante, promoción del buen funcionamiento del sistema gastrointestinal, su capacidad de reducción de glucosa o colesterol en sangre, regulación inmune, prevención de enfermedades cardiovasculares, diabetes, obesidad y algunos tipos de cáncer (Rupérez y Bravo, 2001; Williams y Phillips, 2009; Elleuch *et al.*, 2011; Viebke *et al.*, 2014; Li y Nie, 2016).

Como se indicó, algunos tipos de semillas forman mucílagos que pueden ser una fuente útil de hidrocoloides de aplicación comercial (Koocheki *et al.*, 2009). En los últimos diez años, se han realizado investigaciones sobre la extracción y caracterización reológica y funcional de los hidrocoloides a partir de semillas, entre ellas linaza (Ziolkovska, 2012; Kaushik *et al.*, 2017), chía (Muñoz *et al.*, 2012; Capitani *et al.*, 2015), psyllium, *Gleditsia triacanthos* (Sciarini *et al.*, 2009), *Salvia macrosiphon* (Bostan *et al.*, 2010), *Lepidium sativum* (Karazhiyan *et al.*, 2011). Los hidrocoloides investigados son descritos como de gran potencial por sus propiedades funcionales y nutricionales.

El chan (*Hyptis suaveolens* (L.) Poit) es un arbusto pequeño de la familia Lamiaceae, nativo de América tropical en elevaciones menores a los 1500 m, encontrándose en Costa Rica y Nicaragua en casi todo su territorio. Sus semillas exudan un mucílago cuando se remojan en agua y con ellas se preparan bebidas como el chan y el pinol. En Costa Rica es usual tomar esta bebida para refrescar el estómago, cuando se calienta (*sic*) debido a la ingestión de alimentos picantes (Coronado *et al.*, 2009).

El chan crece de forma silvestre en las zonas bajas y secas de Costa Rica y no existe un sistema de cultivo formal. Su cosecha se realiza de forma artesanal y las semillas se entregan a empresas emparadoras que comercializan el producto con marcas tales como Sabemás, Los Productos de Mamá, Tierra Fértil, Comfrut. Aunque su producción ocurre en los meses de estación seca, el chan se puede encontrar durante todo el año tanto en las cadenas de supermercados como en las pulperías y mercados populares. Su consumo está extendido por todo el país y los pobladores de Guanacaste llaman a las semillas de chan oro negro por la gran demanda que tienen, y el importante ingreso económico que representa. A pesar de la importancia comercial de este producto, no existen en el país cifras de los volúmenes de producción de esta semilla.

Cuando se remoja la semilla del chan se obtiene un mucílago muy viscoso, casi insípido e inodoro; que contiene un hidrocoloide que puede ser extraído como producto seco con un rendimiento aproximado del 12 % (Mueller *et al.*, 2017). Este hidrocoloide posee una gran capacidad de retención de agua, y se señala que puede utilizarse como agente espesante, estabilizante, gelificante o aglutinante; además, se reporta que la fracción neutra del mucílago del chan puede servir como prebiótico caracterizado por un efecto retardado pero duradero (Mueller *et al.*, 2017).

El procedimiento común utilizado para obtener los hidrocoloides de semillas mucilaginosas es la extracción acuosa, como en el caso de chía (Muñoz *et al.*, 2012), psyllium (Behbahani *et al.*, 2017), linaza (Kaushik *et al.*, 2017), albahaca (Razavi *et al.*, 2009, Nazir *et al.*, 2017). El proceso consta de una etapa de hidratación, luego de la cual el mucílago es separado de las semillas de forma mecánica. El extracto se puede secar o se mezcla con alcohol para precipitar el hidrocoloide, que se separa por filtración y luego se seca. Finalmente, el producto seco se muele para obtener el hidrocoloide en polvo.

El rendimiento y las propiedades reológicas de los hidrocoloides dependen de las condiciones de extracción empleadas: temperatura, relación agua/semilla, pH y tiempo de extracción. Por ello, se requiere evaluar estas condiciones para obtener el mayor rendimiento y las mejores propiedades funcionales del hidrocoloide (Koocheki *et al.*,

2009). La evaluación y optimización de las condiciones de extracción se ha realizado utilizando el método de superficie de respuesta, con diseños experimentales como el central compuesto o el central compuesto rotatable (Koocheki *et al.*, 2009; Razavi *et al.*, 2009; Koocheki *et al.*, 2010; Karazhiyan *et al.*, 2011; Jouki *et al.*, 2014; Behbahani *et al.*, 2017; Nazir *et al.*, 2017). Como variable respuesta se utiliza el rendimiento de extracción del producto seco y en algunas ocasiones su contenido proteico y la viscosidad de sus dispersiones.

En un estudio realizado por Gowda (1984) en la India, donde se analizan y describen los componentes del polisacárido del chan, se describe un procedimiento de extracción de su mucílago. Por otro lado, utilizando dos variedades de chan cultivadas en México, Vázquez-Galindo *et al.* (2010), modificaron las condiciones de extracción propuestas por Gowda para aumentar el rendimiento del mucílago. Por último, en el reciente estudio de Mueller *et al.* (2017), sólo se indica que la extracción del mucílago se efectuó con agua fría. Aparte de la información suministrada en los trabajos citados, no existen estudios donde se evalúen de forma sistemática los parámetros de extracción del mucílago del chan para establecer las condiciones de proceso que brinden el mayor rendimiento del hidrocoloide.

Las propiedades funcionales de los hidrocoloides están asociadas a su capacidad de ligar agua y modificar las características reológicas y de textura de los alimentos. Las propiedades reológicas de los hidrocoloides se establecen mediante la evaluación del comportamiento de la viscosidad de sus dispersiones en función de la velocidad de cizalla, la temperatura y la concentración del hidrocoloide, con la ayuda de un reómetro rotacional (Koocheki *et al.*, 2009; Hosseini-Parvar *et al.*, 2010; Karazhiyan *et al.*, 2011; Capitani *et al.*, 2015, Razavi y Najj-Tabasi, 2017). La descripción y análisis del comportamiento reológico de un hidrocoloide permite evaluar su potencial funcionalidad y aplicaciones.

Las propiedades reológicas de los hidrocoloides es afectada por su naturaleza química y por factores como la temperatura, pH, contenido de sólidos, presencia de cationes y sinergia o incompatibilidad con otros ingredientes (Ward *et al.*, 2005). Por

otro lado, los hidrocoloides se utilizan en la formulación de diferentes tipos de alimentos en presencia de ácidos, sales como NaCl y CaCl₂ o azúcares simples como la glucosa y la sacarosa. Es por esto, que en el estudio de las posibles aplicaciones de un hidrocoloide en alimentos es importante evaluar el efecto de estos factores en su comportamiento reológico (Farahnaky *et al.*, 2013; Behrouzian *et al.*, 2014; Salehi *et al.*, 2014). Es importante señalar que solo existe una publicación muy reciente acerca de las propiedades reológicas de las dispersiones del mucílago del chan (Pérez-Orozco *et al.*, 2019).

En algunos casos, las dispersiones de los hidrocoloides se comportan como materiales viscoelásticos (Phillips y Williams, 2009) que son aquellos materiales que presentan propiedades reológicas tanto elásticas como viscosas de forma simultánea (Mezger, 2011). El comportamiento viscoelástico se evalúa con la medición de los parámetros módulo de almacenamiento (G') y módulo de pérdida (G'') en función de la frecuencia en ensayos reológicos oscilatorios (Steffe, 1996; Phillips y Williams, 2009; Capitani *et al.*, 2015; Timilsena *et al.*, 2015; Razavi y Naji-Tabasi, 2017)

En los hidrocoloides, al igual que se hace con la fibra, se pueden evaluar las propiedades de hidratación mediante pruebas como la capacidad de retención de agua, la capacidad de hinchamiento y la solubilidad del hidrocoloide (Elleuch *et al.*, 2011). Otra propiedad que se evalúa es la capacidad de absorción de aceite. Por otro lado, el efecto de un hidrocoloide en el comportamiento de emulsiones, se estudia midiendo tanto su capacidad emulsionante como la estabilidad de la emulsión producida (Koocheki *et al.*, 2009; Sciarini *et al.*, 2009).

Debido a la escasa información que existe respecto a la obtención y evaluación de las propiedades del mucílago del chan, surge la motivación de la presente investigación que plantea evaluar las condiciones de extracción y analizar las propiedades reológicas y funcionales del hidrocoloide obtenido.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Establecer las condiciones del proceso de extracción del hidrocoloide de las semillas del chan y analizar sus propiedades reológicas y funcionales.

2.2. Objetivos específicos

- Realizar la caracterización química proximal de las semillas del chan y del extracto seco de su mucílago.
- Evaluar las condiciones de extracción del hidrocoloide del chan para establecer las que brindan un mejor rendimiento.
- Determinar el perfil reológico del hidrocoloide extraído.
- Evaluar las propiedades funcionales del hidrocoloide del chan.

3. Marco Teórico

3.1. El chan

El chan (*Hyptis suaveolens* (L.) Poit.) es una planta de la familia Lamiaceae, muchas de cuyas especies son apreciadas por su uso como alimento o medicina tales como el romero (*Rosmarinus officinalis*), la albahaca (*Ocimum basilicum*), la chía (*Salvia hispanica*), el orégano (*Origanum vulgare*), la hierbabuena (*Mentha spicata*) y la salvia (*Salvia officinalis*). El chan fue llamado *chiantzotzotl* por los nahuas (Ayerza y Coates, 2006) y su nombre proviene del término náhuatl “chian” que significa aceitoso (León y Poveda, 1999). La planta *Hyptis suaveolens* fue descrita en el año 1806 y la etimología de su nombre proviene del griego *huptios*, que significa “vuelto hacia atrás”, aludiendo a la posición del labio inferior de la corola, en tanto que *suaveolens* significa “dulcemente perfumada”, por el agradable olor que se percibe (Vibrans, 2011; Ecobiosis, 2013).

3.1.1. Descripción botánica y taxonómica

El chan es un arbusto pequeño, nativo de Mesoamérica, que crece de forma silvestre (Gómez y Maes, 2005; Vergara-Santana *et al.*, 2005). Se cultivó ampliamente en la época precolombina para aprovechamiento de sus semillas (Lira *et al.*, 2016). Se encuentra distribuido en el trópico americano desde el sur de México y las Antillas hasta las Guayanas, Venezuela, Brasil y Bolivia; además, se encuentra naturalizada en las regiones tropicales de Asia, África y Australia (Hammel *et al.*, 2007; Ecobiosis, 2013).

Su hábitat en Costa Rica comprende el bosque seco, húmedo, muy húmedo y pluvial, así como áreas de vegetación perturbadas en elevaciones de 0 a 1750 m (Hammel *et al.*, 2007; Coronado *et al.*, 2009). En varias regiones como en la India, Australia y Hawaii, el chan es considerado como una potente especie invasora (Falcão y Menezes, 2003; Raizada, 2006; Vibrans, 2011). Se adapta a una gran variedad de condiciones agroecológicas, y puede crecer hasta un poco más de dos metros de altura dependiendo del tipo de suelo y las condiciones de humedad (Gómez y Maes, 2005).

En la **Figura 1a** se aprecian partes de la planta del chan. Es una hierba o arbusto aromático, muy ramificado, que alcanza hasta los dos metros de alto; de tallos erectos, cuadrangulares y pubescentes. Sus hojas son simples, de aspecto arrugado, ovadas o lanceoladas, pecioladas, con ápice agudo. Las flores tienen un cáliz glabro internamente y una corola tubular azulada o morada. Los frutos son nuececillas de 3-4 mm, glabros, que al madurar cambian de verde a café claro. El fruto (**Figura 1b**) presenta una o dos semillas, negras y aplanadas, de cerca de 1 mm de diámetro (León y Poveda, 1999; Hammel *et al.*, 2007; Coronado *et al.*, 2009; Vázquez-Galindo *et al.*, 2010; Vibrans, 2011).

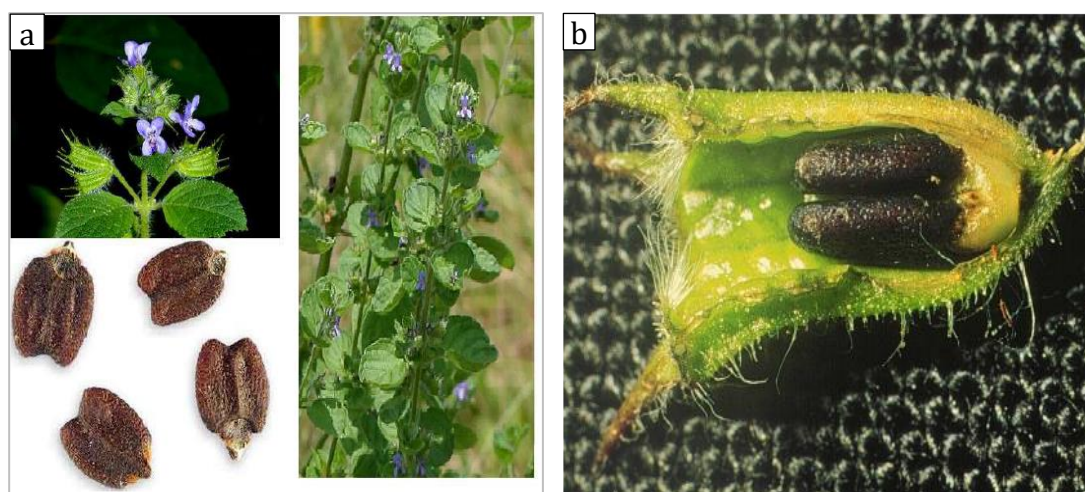


Figura 1. a) Partes de la planta del chan, tomado de Yada *et al.* (2017) b) Fruto y semillas del chan, tomado de Masís *et al.* (1998).

3.1.2. La planta del chan

El chan fue cultivado por las culturas prehispánicas de Mesoamérica debido al uso de sus semillas como alimento, y a las propiedades medicinales de los componentes de la planta, entre los que se encuentran aceites esenciales, alcaloides, flavonoides, fenoles (ácido rosmarínico), saponinas, terpenos (eucaliptol, ácido suaveólico y suaveolol) y esteroides (β -sitosterol, β -sitosterol glicósido) (Sharma Prince *et al.*, 2013; Yada *et al.*, 2017). Tradicionalmente, las diferentes partes de la planta se han utilizado para el tratamiento de enfermedades respiratorias, de la piel y desórdenes intestinales,

en las zonas tropicales de América Asia y África (Aguirre *et al.*, 2012; Jesus *et al.*, 2013; Sharma Prince *et al.*, 2013; Umendum Ngozi *et al.*, 2014).

Se han señalado diversas actividades fitofarmacológicas de la planta del chan tales como antimicrobiana, antifúngica, antioxidante, analgésica, antiinflamatoria, antitumoral, gastroprotectora, antiplasmódica y cicatrizante (Sharma Prince *et al.*, 2013; Umendum Ngozi *et al.*, 2014; Yada *et al.*, 2017). Se reporta que el aceite esencial de sus hojas posee actividad antimicrobiana, antifúngica y antioxidante (Nantitanon *et al.*, 2007; Pessoa Moreira *et al.*, 2010), y que es un efectivo repelente de mosquitos (Abagli *et al.*, 2012). La actividad citotóxica se atribuye a los terpenoides presentes (Falcão y Menezes, 2003), donde el terpenoide mayoritario del aceite de sus hojas es el eucaliptol (1,8 cineol) (Pessoa Moreira *et al.*, 2010). El extracto de hojas de chan se emplea para tratamiento de hongos en la piel (Coronado *et al.*, 2009), y posee propiedades insecticidas y para el control de larvas de *Aedes aegypti* (Gómez y Maes, 2005).

3.1.3. Semilla del chan

La semilla de chan tiene un contenido de proteína del 13,9 g/100 g bs y de los minerales fósforo (2,8 mg/g), magnesio (2,5 mg/g), calcio (2,0 mg/g) y fósforo (1,8 mg/g), que indican su potencial como posible fuente de nutrientes para la industria de alimentos (Aguirre *et al.*, 2012). Se reporta que posee un contenido de aceite de 15,82-16,11 % (Vázquez-Galindo *et al.*, 2010), cuyo principal componente es el ácido linoleico (76,1 %), un ácido graso esencial poliinsaturado (Rai *et al.*, 2013)

El epispermo de la semilla de chan presenta una capa formada por polisacáridos complejos, que tienen la capacidad de hidratarse para formar una cobertura mucilaginosa. Esta capa está compuesta por heteropolisacáridos neutros y ácidos en una proporción 1:1, que pueden extraerse con un rendimiento aproximado del 12 % (Mueller *et al.*, 2017). La fracción neutra está formada de D-manosa, D-galactosa y D-glucosa, en tanto que los polisacáridos de ácidos ramificados contienen L-fucosa,

D-xilosa y ácido 4-O-metil-D-glucurónico (Gowda, 1984; Aspinall *et al.*, 1991; Mueller *et al.*, 2017; Praznik *et al.*, 2017).

Cuando la semilla del chan se remoja en agua, los polisacáridos presentes absorben una gran cantidad de agua y se obtiene un mucílago muy viscoso. Por esta singular propiedad de este mucílago, se ha sugerido un potencial uso como agente espesante, estabilizante, gelificante o aglutinante; además, se ha encontrado que la fracción neutra del mucílago del chan puede servir como prebiótico caracterizado por un efecto retardado pero duradero (Mueller *et al.*, 2017).

3.1.3.1. Mixospermia

El término mixospermia se relaciona con la capacidad que presentan algunas semillas de formar una capa mucilaginosa externa cuando se ponen en contacto con agua, como se observa en la **Figura 2**. Esta propiedad es más frecuente en plantas que crecen en suelos arenosos o áridos (Deng *et al.*, 2012). La capacidad de producir sustancias mucilaginosas es una propiedad sorprendente de muchas semillas de plantas con flor, entre las que se encuentran las Lamiáceas. Su superficie está rodeada por un mucílago que regula la velocidad, la cantidad y el tiempo en que la semilla absorbe y pierde agua. Este mucílago contribuye a controlar las condiciones de desarrollo y actividad de la semilla (Kreitschitz, 2009).

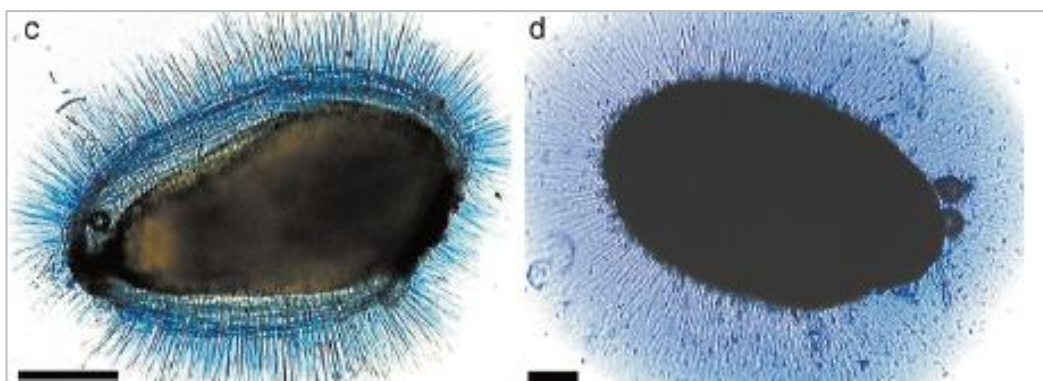


Figura 2. Imagen microscópica de una semilla con su cobertura mucilaginosa hidratada, teñida con azul de metileno, tomado de Kreitschitz (2009).

idas, donde el agua retenida por la semilla la protege de ambientes desfavorables, produce las condiciones adecuadas para la germinación y facilita la adherencia al suelo o al

cuerpo de los animales lo que permite su sobrevivencia y dispersión; también, se señala que ésta cubierta mucilaginosa puede tener funciones defensivas y de protección (Western *et al.*, 2000; Kreitschitz, 2009; Farahnaky *et al.*, 2019). En algunas especies se ha encontrado que el mucílago presenta propiedades fungicidas y que protege a la semilla frente a infecciones virales (Kreitschitz, 2009).

Uno de los ejemplos más conocidos del uso del mucílago de las semillas mixopermáticas es la linaza (*Linum usitatissimum*) que se utiliza como bebida y en la medicina tradicional para varias aplicaciones.

3.1.3.2. Uso de la semilla como alimento

El uso del chan como alimento se remonta a las culturas prehispánicas de Mesoamérica; y prueba de ello es el hallazgo de semillas de chan en el Templo Mayor de Tenochtitlan (Montúfar, 2007). Hay referencias escritas del siglo XVI en México del empleo tradicional del chan: en el código Mendoza se señala que las semillas de chan eran muy apreciadas por las culturas prehispánicas por sus propiedades nutricionales y medicinales, y por su resistencia al ataque de hongos e insectos (Aguirre *et al.*, 2004); en tanto que, en el código Florentino se menciona el uso del chan para las “carencias de cámaras” (diarrea) (Torres, 2017).

En México y los países de Centro América, el uso más extendido de la semilla de chan es para la elaboración de refrescos. En Costa Rica, el fresco de chan se prepara mezclando las semillas con agua, se agrega limón, a veces sirope, y se utiliza para refrescar el estómago, cuando se calienta debido a la ingestión de alimentos picantes (sic) (Coronado *et al.*, 2009).

Las semillas de chan se emplean para la preparación de dos bebidas típicas de origen precolombino: el bate y el pinole (Lira *et al.*, 2016). En México, el bate se prepara mezclando el polvo de las semillas tostadas con agua y se endulza con miel de piloncillo (tapa de dulce) (Arellano, 2006; Vázquez-Galindo *et al.*, 2010); en tanto que, el pinole o pinol es una mezcla hecha con chan, maíz, cacao y azúcar (Coronado *et al.*, 2009). Las semillas molidas de chan se mezclan con harina de trigo para hacer

productos horneados como galletas y pasteles; también se utilizan como ingrediente para la disminución de peso (Gómez y Maes, 2005; Vázquez-Galindo *et al.*, 2010).

3.2. Hidrocoloides

Los hidrocoloides son un variado grupo de polímeros hidrofílicos de alto peso molecular y tamaño coloidal (10-1000 Å) que al mezclarse en pequeñas concentraciones con agua producen dispersiones de alta viscosidad o geles (Hoefer, 2004; Saha y Bhattacharya, 2010; Razavi, 2019). Los hidrocoloides utilizados en alimentos pertenecen a dos grandes grupos de biopolímeros: los polisacáridos y las proteínas. Su estructura presenta gran cantidad de grupos hidroxilo que provocan una fuerte afinidad e interacción con las moléculas de agua por medio de puentes de hidrógeno (Hoefer, 2004; Razavi, 2019).

En el **Cuadro 1** se presentan diferentes tipos de hidrocoloides clasificados por su origen y por su componente estructural. La mayoría de los hidrocoloides son de origen natural, y pueden estar constituidos por diferentes grupos de polisacáridos como glucanos, galactomananos, glucomananos, arabinosilanos, arabinogalactanos, fructanos, polímeros de glucosamina, entre otros. Como se indicó, hay algunos hidrocoloides que están conformados por proteínas como la gelatina y la caseína. Los principales hidrocoloides naturales que se emplean en la industria de los alimentos son el almidón, la gelatina, las pectinas y las gomas xantán o guar (Razavi, 2019).

Las gomas son un tipo de hidrocoloide obtenidos de exudados de plantas que se producen en sus cortezas como mecanismo de protección ante un daño externo. Entre ellas, se encuentran las gomas: arábica, tragacanto, karaya y ghatti. Además de su uso en alimentos, son empleadas en las industrias farmacéutica, cosmética, de papel y textil, por sus propiedades de viscosidad, estabilización, emulsificación y adherencia (Barak *et al.*, 2020). El término goma también se aplica comercialmente a algunos productos que no son exudados como la goma xantán que es de origen microbiano o la goma algarrobo extraída de la semilla de una fabácea.

Cuadro 1. Origen y componentes de diferentes tipos de hidrocoloideos (Hoefler, 2004; Li y Nie, 2016).

Origen	Hidrocoloide	Componente
Testa de Semillas	Psyllium	Arabinoxilano
	Linaza	Arabinoxilano
	Albahaca	Galactomanano
	Chía	Compuesto por D-xilosa, D-glucosa y ácido 4-O-metilglucurónico
Vegetales	Pectina	Galacturonano
	Inulina	Fructano
	Gomas Guar y Algarrobo	Galactomanano
	Almidón	Glucano
Gomas	Arábiga	Arabinogalactano
	Tragacanto y Karaya	Glicano-ramnogalacturonano
	Ghatti	Glicano-glucoronomanoglicano
Algas	Agar y Carragenina	Galactano
	Alginato	Glucomanano
Microbiana	Xantán	Unidades de pentasacárido con glucosa, manosa y ácido glucurónico
	Gellan	Unidades de tetrasacárido con glucosa, ramnosa y ácido glucurónico
	Pullulano	Polisacárido con unidades de maltotriosa
Animal	Gelatina	Proteína
	Caseína	Proteína
	Quitosano y quitina	Polímeros de glucosamina
Semisintético	Carboximetilcelulosa	Celulosa
	Celulosa microcristalina	Celulosa
	Metilcelulosa	Celulosa
	Almidón modificado	Glucano
Sintético	Poliacrilato	Copolímeros del acrilato
	Carbopol	Polímero carboxivinílico
	Polyox	Polímeros de óxido de polietileno

Los hidrocoloides naturales son polidispersos, o sea, que sus moléculas presentan un rango de variación en su peso molecular y además, son polimoleculares dado que la estructura de sus moléculas es variable (BeMiller, 2008). Estos polímeros pueden estar formados por cadenas lineales (amilosa, pectinas, alginatos) o por cadenas ramificadas (amilopectina, goma arábica). Por otro lado, la molécula puede ser neutra (goma guar, metilcelulosa) o poseer carga aniónica (pectinas, goma xantán) (Hoefer, 2004).

La velocidad de hidratación y la viscosidad de un hidrocoloide dependen del tamaño y naturaleza de la cadena de su molécula. Un compuesto de tamaño grande, con alto grado de polimerización, tiende a producir dispersiones más viscosas respecto a un compuesto de menor tamaño. Por otro lado, un hidrocoloide con estructura ramificada produce una dispersión de menor viscosidad que un hidrocoloide de cadena lineal del mismo peso molecular, debido a que ocupa menor espacio. Las cadenas ramificadas o sustituidas forman menos puentes de hidrógeno entre ellas, lo cual provoca que se hidraten más rápido que cadenas con poco nivel de sustitución (Hoefer, 2004). Por otro lado, los hidrocoloides que poseen carga iónica presentan mayor viscosidad que los neutros de similar peso molecular (Razavi, 2019).

Los hidrocoloides naturales pueden ser tratados químicamente para modificar sus propiedades funcionales, en cuyo caso se denominan semisintéticos (Hoefer, 2004). Por otro lado, existen hidrocoloides sintéticos derivados de productos del petróleo como los copolímeros del acrilato, los polímeros de carboxivinilo (Carbopol) o de óxido de polietileno (Polyox).

El estudio de los hidrocoloides se ha incrementado en los últimos años, dado que son componentes que pueden modificar o afectar el procesamiento, las propiedades sensoriales, los aspectos nutricionales y los relacionados con la salud de los alimentos (Lu *et al.*, 2020). Son utilizados en diversas aplicaciones que incluyen el espesamiento y gelificación de productos, la estabilización de espumas, emulsiones y dispersiones, la modificación de textura, la inhibición de formación de cristales de hielo y azúcar, además de su uso como agentes encapsulantes y en la liberación controlada de sabores

y aromas (Hoefler, 2004; Doublier y Cuvelier, 2006; Phillips y Williams, 2009). Razavi (2019) presenta una descripción completa de las funciones que pueden desempeñar los hidrocoloides en diferentes tipos de alimentos como productos lácteos y cárnicos, salsas y aderezos, bebidas, productos horneados, postres, confitería, entre otros.

Aparte de su amplia aplicación en alimentos, los hidrocoloides se utilizan en otras industrias: farmacéutica, cosmética, de recubrimientos, textil, papel, de productos de cuidado personal (BeMiller, 2008).

El mercado mundial de los hidrocoloides ha crecido considerablemente en los últimos años por el aumento en la demanda de productos naturales y saludables; se proyecta que se duplicará en los próximos 10 años (Yemenicioğlu *et al.*, 2020) y que su valor alcance los \$ 8 500 millones en el 2022 (Razavi, 2019).

3.2.1. Propiedades y funcionalidad de los hidrocoloides

El término funcional se relaciona con brindar efectos deseables en un producto o efectos fisiológicos benéficos en el organismo (Matos-Chamarro y Chambilla-Mamani, 2010). Las propiedades funcionales de los hidrocoloides en un producto resultan de su comportamiento en medio acuoso, donde se presentan varios tipos de interacciones: macromolécula-agua (aumento de viscosidad, solubilidad), macromolécula-macromolécula (gelificación, estabilización) o macromolécula-otros componentes como gotas de aceite, partículas sólidas o gases (emulsificación, adsorción, estabilización) (Doublier y Cuvelier, 2006). La capacidad de ligar agua y la formación de dispersiones viscosas, y en algunos casos geles, juegan un papel fundamental en brindar a los alimentos estructura y estabilidad (Gao *et al.*, 2017).

El uso de hidrocoloides es amplio para mejorar la funcionalidad, calidad o estabilidad de productos como bebidas, yogurt, helados, salsas, aderezos, mayonesas, jaleas, productos horneados y cárnicos, entre otros (Razavi, 2019; Yemenicioğlu *et al.*, 2019). Es importante señalar que los hidrocoloides no tienen la capacidad de reducir significativamente la actividad de agua en un producto; su capacidad reside en

organizar el agua presente en un producto más que en ligar el agua presente y limitar su disponibilidad (Hoefler, 2004).

La naturaleza de los hidrocoloides (composición química, peso molecular, conformación de su estructura, carga, viscosidad intrínseca y tamaño de partícula) y las propiedades del medio acuoso donde se dispersan (pH, temperatura, presencia de solutos) determinan sus propiedades fisicoquímicas y su funcionalidad (BeMiller, 2008). La solubilización de los hidrocoloides, y la hidratación y dispersión completa de sus moléculas es una etapa fundamental para el desarrollo de su funcionalidad (Doublier y Cuvelier, 2006). Estos procesos son afectados por factores como su naturaleza química, tamaño de partícula, forma de incorporación, fuerza de corte y duración del mezclado (Ward *et al.*, 2005). La mayoría de las dispersiones de hidrocoloides presentan una configuración de espiral al azar (Rao, 2014)

Las propiedades funcionales de los hidrocoloides se pueden clasificar en dos categorías: como agentes espesantes por su capacidad de ligar agua y aumentar la viscosidad del medio, o como agentes gelificantes por la capacidad de sus moléculas de reticular o entrelazarse para formar redes tridimensionales dando lugar a una estructura viscoelástica (Hoefler, 2004). Entre los hidrocoloides utilizados como espesantes se encuentran la goma xantán, las gomas guar y algarrobo, la carboximetil y metil celulosa; en tanto que como agentes gelificantes se utilizan almidones modificados, pectinas, alginatos, carrageninas, agar y goma gellan (Williams y Phillips, 2009; Saha y Bhattacharya, 2010).

Los geles son sustancias que se comportan como sólidos a pesar de su alto contenido de agua. La gelificación de polisacáridos resulta de reticulación por interacción entre cadenas de polímeros. Dependiendo del comportamiento macroscópico se diferencian dos tipos de geles: los geles verdaderos que forman una red tridimensional independiente, y los geles débiles cuya naturaleza sólida es menos aparente, y que se puede romper fácilmente cuando se aplica un esfuerzo (Doublier y Cuvelier, 2006).

En la formulación de productos, los hidrocoloides se utilizan en bajas concentraciones (< 1 %). Su amplio uso como aditivos en alimentos se debe a su capacidad de modificar propiedades reológicas como la viscosidad y textura que, a su vez, afectan propiedades sensoriales de los productos, y contribuyen a prolongar su vida útil por un aumento en la estabilidad de dispersiones y suspensiones (Saha y Bhattacharya, 2010; Razavi, 2019).

La funcionalidad de un hidrocoloide se establece mediante el conocimiento de sus propiedades reológicas, de textura, y de aquellas que reflejan su interacción con el agua como la solubilidad, la capacidad de retención de agua (CRA) y capacidad de hinchamiento (CH); además, se pueden considerar otras propiedades funcionales como su capacidad de adsorción de aceite, su capacidad emulsionante (CE) y su capacidad estabilizante de emulsiones (EE).

Las propiedades de hidratación dependen de los componentes y estructura química del polisacárido, pH, temperatura, fuerza iónica, tamaño de partícula y de los efectos mecánicos (Elleuch *et al.*, 2011). Por otro lado, la solubilidad de un hidrocoloide es afectada por la presencia de grupos SO_4^{2-} o COO^- , o por la presencia de otros compuestos como proteínas, sales, azúcares simples. La capacidad de retención de agua es la cantidad de agua que retiene 1 g de producto bajo determinadas condiciones de temperatura, tiempo de remojo y velocidad de centrifugación. La capacidad de hinchamiento se determina midiendo el volumen que ocupa luego de ser remojado por 16 horas en una probeta (Elleuch *et al.*, 2011).

La capacidad de adsorción de aceite se establece como la cantidad de aceite que se retiene por 1 g de fibra luego de mezclado, reposo y centrifugación bajo determinadas condiciones. Por otro lado, los hidrocoloides pueden actuar como agentes emulsionantes o estabilizantes. Un emulsificante es un producto con actividad superficial, que se adsorbe en la interfase aceite-agua y previene la coalescencia de las gotas dispersas (Dickinson, 2009). Por otro lado, un agente estabilizante mantiene las propiedades de una emulsión en el tiempo ya sea por aumento en la viscosidad de la fase continua o por control de las propiedades interfaciales (Doublier y Cuvelier, 2006;

Capitani, 2013). Algunos hidrocoloides utilizados como estabilizantes son la goma xantán, la carboximetilcelulosa y la carragenina (Dickinson, 2009).

La actividad superficial de los mucílagos se relaciona con la presencia de grupos hidrofóbicos en sus cadenas (metilo, etilo) o por la presencia de residuos de proteínas, aunque también, se reporta la influencia del peso molecular, la flexibilidad de las cadenas y la carga superficial de las moléculas (Soukoulis *et al.*, 2018).

3.2.2. Propiedades benéficas para la salud

Los hidrocoloides no son degradados por las enzimas digestivas humanas; sin embargo, son susceptibles a la descomposición microbiana en el intestino grueso (Ramsden, 2004) y son considerados como fibra dietética. Por ello, se emplean para aumentar el contenido de este nutriente en los alimentos, y aportan sus beneficios nutricionales, además de cumplir funciones como agentes bioactivos en la prevención de ciertas enfermedades (Rupérez y Bravo, 2001; Izydorczyk *et al.*, 2005). La alta viscosidad de las dispersiones acuosas de los hidrocoloides determina sus efectos fisiológicos relacionados con el mantenimiento de una buena salud. Su presencia produce un aumento en la viscosidad y del volumen del contenido gástrico debido a su capacidad de retención de agua, que genera un aumento en el tiempo de tránsito intestinal y en la frecuencia y facilidad de la disposición de las heces (efecto laxante) (Rupérez y Bravo, 2001). Sus propiedades de hidratación se pueden evaluar mediante las pruebas utilizadas en la caracterización de fibra como solubilidad, capacidad de retención de agua y capacidad de hinchamiento.

También, se citan los siguientes efectos beneficiosos para la salud por presencia de hidrocoloides: reducción de los niveles de colesterol plasmático, disminución en la respuesta glicémica y aumento de la microflora del colon con liberación de metabolitos benéficos, regulación inmune, prevención de enfermedades cardiovasculares, diabetes, obesidad y algunos tipos de cáncer (Rupérez y Bravo, 2001; Williams y Phillips, 2009; Elleuch *et al.*, 2011; Viebke *et al.*, 2014; Li y Nie, 2016).

El uso de los hidrocoloides se ha incrementado en la elaboración de alimentos saludables: por ejemplo en el desarrollo de productos con alta capacidad saciante por su efecto en las propiedades reológicas y de textura (Fizman y Varela, 2013). Algunos hidrocoloides, como pectinas, inulina, almidones resistentes, β -glucanos se han venido utilizando como prebióticos o por su efecto benéfico para la salud en enfermedades metabólicas o crónicas (Yemenicioğlu *et al.*, 2020).

3.3. Extracción de los hidrocoloides

Existen diferentes procedimientos para la extracción de los hidrocoloides presentes en los tejidos vegetales, pero no se cuenta con una metodología general. Ese hecho es debido a diferencias en la composición de productos obtenidos de diferentes fuentes, su complejidad estructural, el tipo de tejido, el estado de desarrollo y las condiciones de crecimiento, entre otros factores (Andersson *et al.*, 2006). El método común que se ha utilizado para obtener los mucílagos de las semillas es la extracción acuosa, que se ha empleado para para la semillas de chía (*Salvia hispánica*) (Muñoz *et al.*, 2012); psyllium (*Plantago major*) (Behbahani *et al.*, 2017); linaza (*Linum usitatissimum*) (Ziolkovska, 2012; Kaushik *et al.*, 2017); albahaca (*Ocimum basilicum*) (Razavi *et al.*, 2009; Nazir *et al.*, 2017), *Lepidium perfoliatum* (Koocheki *et al.*, 2009), *Lepidium sativum* (Razmkhah *et al.*, 2016) y *Salvia macrosiphon* (Bostan *et al.*, 2010).

Cuando una semilla mucilaginosa se coloca en agua, se hidrata rápidamente formando una envoltura de mucílago, y su peso aumenta varias veces el original. Con esta hidratación los componentes solubles se incorporan en la fase acuosa; sin embargo, la capa de mucílago permanece fuertemente adherida a la testa, y se requiere una fuerte acción por medios mecánicos para lograr una separación eficiente del hidrocoloide del resto de la semilla (Farahnaky *et al.*, 2019). La capa exterior del hidrocoloide en la testa no está mezclada con las otras secciones de la semilla, y por ello, no es conveniente moler la semilla de previo a la extracción debido a que se obtiene un polisacárido con un mayor contenido de impurezas (Farahnaky *et al.*, 2019).

El proceso de obtención de los hidrocoloides de semillas mucilaginosas comprende una etapa inicial de hidratación, seguida de la separación del mucílago con un medio mecánico que ayuda a su desprendimiento de la semilla. Se obtiene una mezcla del mucílago y partículas de semilla que se separan por filtración o centrifugación, operaciones que se dificultan por la alta viscosidad de las dispersiones. La operación de separación es difícil, su consumo energético es alto y el producto que se obtiene presenta impurezas de semilla molida (Farahnaky *et al.*, 2019). El mucílago obtenido se puede secar directamente, o se incluye una precipitación con etanol, seguida de una filtración y prensado, para luego realizar el secado. Finalmente, el producto seco se muele para obtener el hidrocoloide en polvo.

3.3.1. Variables de extracción

El rendimiento de extracción de los mucílagos de semillas depende de la temperatura (T), pH del medio acuoso, la relación agua semilla (R_{as}) y el tiempo (θ) de proceso (Soukoulis *et al.*, 2018). Se ha encontrado que estas variables de extracción afectan el rendimiento, el contenido de proteínas y la viscosidad aparente en mucílagos obtenidos de semillas de albahaca y de *Lepidium sativum* (Karazhiyan *et al.*, 2011; Razavi *et al.*, 2009). En el **Cuadro 2**, se muestran los rangos de las variables de extracción que se han utilizado en la obtención de mucílagos de diferentes semillas.

3.3.1.1. Temperatura

Como se observa en el **Cuadro 2** se han utilizado temperaturas de extracción entre 25 y 85 °C. La escogencia este parámetro de extracción depende de la solubilidad del mucílago, y en general un aumento de la temperatura disminuye el tiempo de extracción requerido. Se reporta que la temperatura de extracción influye en la composición y las propiedades funcionales del hidrocoloide de la semilla de linaza (Kaushik *et al.*, 2017). Se debe tener en cuenta que una extracción con altas temperaturas y un tiempo extenso, puede tener un efecto en el rendimiento de extracción por degradación de los polisacáridos (Farahnaky *et al.*, 2019).

Cuadro 2. Parámetros de extracción para diferentes tipos de mucílagos de semillas.

Semilla	Temperatura (°C)	pH	R_{as} (g agua/g sustrato)	Tiempo (min)	Referencia
Albahaca (<i>Ocimum basilicum</i>)	25-85	4-10	50-80	20	Razavi <i>et al.</i> , 2009
Qodume Shirazi (Irán) (<i>Alyssum homolocarpum</i>)	25-85	4-10	20-60	60	Koocheki <i>et al.</i> , 2010
Chía (<i>Salvia hispanica</i>)	20-80	4-8	20-40	120	Muñoz <i>et al.</i> , 2012
Qodume Shahri (Irán) <i>Lepidium perfoliatum</i>	45-75	5-8	30-60	90-210	Koocheki <i>et al.</i> , 2009
Mastuerzo <i>Lepidium sativum</i>	25-85	3-10	10-80	10-25	Karazhiyan <i>et al.</i> , 2011
Linaza (<i>Linum usitatissimum</i>)	40-100	7	5-30	60	Ziolkovska, 2012
Llantén <i>Plantago major</i>	45-75	4-10	20-60	90	Behbahani <i>et al.</i> , 2017
Marvak (Irán) (<i>Salvia macrosiphon</i>)	25-85	3-9	25-80	20	Bostan <i>et al.</i> , 2010

3.3.1.2. Relación agua/semilla (R_{as})

En los trabajos realizados de extracción se reporta un amplio rango de relación agua semilla (R_{as}) entre 5:1 a 85:1. Esta relación afecta la eficiencia del proceso, su rendimiento, las propiedades reológicas, contenido de impurezas y color del hidrocoloide obtenido. Los valores bajos de R_{as} producen un mayor rendimiento, en tanto que valores altos de R_{as} requieren un menor consumo de energía, lo cual reduce el costo de producción; sin embargo, se debe tomar en cuenta que toda el agua que se agregue, luego se debe separar por medios mecánicos y por secado, lo cual incrementa los costos (Farahnaky *et al.*, 2019).

3.3.1.3. Tiempo de extracción

Se han evaluado tiempos de extracción desde pocos minutos hasta varias horas. Se debe proporcionar suficiente tiempo para que el hidrocoloide se hidrate por completo, para luego realizar su separación de la semilla. La duración de la extracción es influida por variables de proceso como la temperatura y la intensidad de mezclado suministrada por la agitación. El tiempo de proceso se debe evaluar para establecer el mínimo requerido para obtener un rendimiento óptimo (Farahnaky *et al.*, 2019).

3.3.1.4. pH

En los estudios realizados, se ha evaluado el efecto del pH (4-10) en la extracción de hidrocoloides de semillas mucilaginosas. Su influencia en el rendimiento del extracto es menor que el efecto de la temperatura. Se ha encontrado que el pH de extracción puede influir en las propiedades reológicas del hidrocoloide obtenido por alteraciones en su molécula; y por ello, se recomienda no utilizar valores de pH muy bajos o altos, sobre todo si el proceso de extracción se realiza a temperaturas altas o tiempos prolongados (Farahnaky *et al.*, 2019).

3.3.1.5. Agitación

La agitación del medio de extracción provoca un mayor contacto entre las semillas y el agua, que produce un aumento en la velocidad de hidratación y por ello, en la eficiencia de la extracción. Una adecuada agitación permite una buena extracción sin necesidad del empleo de altas temperaturas.

3.3.2. Separación del mucílago

El mucílago hidratado está fuertemente adherido a la testa de la semilla y es necesario aplicar fuerzas mecánicas de cizalla (por ejemplo, rozamiento contra la superficie de un tamiz) para su separación. En este proceso se debe prevenir el daño de la testa de la semilla para evitar la presencia de partículas contaminantes en el mucílago (Farahnaky *et al.*, 2019). La separación del mucílago hidratado de la semilla, también se dificulta por su alta viscosidad.

En algunos casos se ha efectuado la separación del mucílago de la semilla en seco por medio de dispositivos mecánicos de frote o rozamiento, tal como el caso del hidrocoloide de *Plantago ovata*; sin embargo, en muchas de las semillas mucilaginosas no es posible esta separación de la capa de mucílago (Farahnaky *et al.*, 2019).

3.3.3. Purificación

La dispersión del mucílago hidratado se puede mezclar con etanol en una proporción de 2 a 3 partes de etanol por parte de extracto, lo cual provoca la precipitación del hidrocoloide que forma una especie de nube blanquecina de fibras que se puede separar de la solución por filtración a través de un medio como la tela para separar la cuajada del suero. En el líquido quedan disueltos gran parte de compuestos solubles en la mezcla alcohol-agua, y por ello este procedimiento se considera un proceso de purificación del hidrocoloide. Este método, también permite realizar lavados del hidrocoloide precipitado con etanol para reducir la cantidad de impurezas solubles.

No obstante, en varios trabajos esta etapa de precipitación con etanol y posterior separación no se realiza, sino que el mucílago extraído se seca de forma directa (Koocheki *et al.*, 2009; Razavi *et al.*, 2009; Bostan *et al.*, 2010; Karazhiyan *et al.*, 2011; Muñoz, 2012; Behbahani *et al.*, 2017). Este procedimiento tiene la desventaja de producir un mucílago con un mayor contenido de impurezas, ya que la dispersión aparte del hidrocoloide contiene otros compuestos como proteínas, carbohidratos solubles, cenizas e impurezas sólidas. Por ello, la precipitación con etanol es un método que permite separación y purificación del hidrocoloide.

3.3.4. Secado

El procedimiento común utilizado para el secado de los mucílagos se realiza con aire caliente (45-70 °C) por tiempos entre 10-16 h (Koocheki *et al.*, 2009; (Bostan *et al.*, 2010; Karazhiyan *et al.*, 2011; Muñoz *et al.*, 2012; Behbahani *et al.*, 2017). También, se reporta el empleo de secado al vacío a 50 °C (Razavi *et al.*, 2009; Koocheki *et al.*, 2010), pero este procedimiento es mucho más caro.

El tipo de secado puede afectar las propiedades funcionales del hidrocoloide obtenido. En un estudio, se evaluó el efecto del método de secado (liofilización, vacío a 40, 60 y 80 °C y microondas) sobre las propiedades reológicas y funcionales del hidrocoloide de *Lepidium sativum*, y se encontró que influye algunas de ellas como la viscosidad de sus dispersiones y su capacidad emulsificante (Moniri *et al.*, 2020).

El costo de las operaciones de extracción de los hidrocoloides de semillas mucilaginosas (hidratación, separación, mecánica, precipitación con solvente, secado) puede ser un obstáculo para la rentabilidad del proceso y su posible aplicación industria.

3.4. Reología

La reología es la ciencia que estudia el comportamiento de la deformación y flujo de los materiales (Steffe, 1996; Sahin y Sumnu, 2006). Las propiedades reológicas de un alimento se determinan con mediciones de flujo y deformación que resultan al aplicar esfuerzos normales y tangenciales (Rao, 2014).

3.4.1. Propiedades reológicas

El conocimiento de las propiedades reológicas de los alimentos es de utilidad en diferentes áreas de la industria: cálculos de equipos de proceso como bombas, mezcladores, extrusores, s, determinación de la funcionalidad de ingredientes, evaluación sensorial o textura, control de calidad, determinación de vida útil (Steffe, 1996; Rao, 2014). La caracterización de las propiedades reológicas de los hidrocoloides es básica para describir su comportamiento y relacionar su efecto en la viscosidad, textura y propiedades sensoriales de los alimentos (Saha y Bhattacharya, 2010). Por trabajos de investigación realizados en los últimos 20 años, se han obtenido avances importantes en el conocimiento de la reología de los hidrocoloides (Razavi, 2019).

Existen dos propiedades reológicas fundamentales en el estudio de la funcionalidad de los hidrocoloides: las propiedades de flujo (pseudoplasticidad, tixotropía) y las propiedades del gel (viscoelasticidad y textura). Las dispersiones de mucilagos de semillas. En las dispersiones de los hidrocoloides, su concentración

influye en el comportamiento reológico, de forma que un aumento provoca un incremento en la viscosidad aparente de la dispersión. Los alimentos que contienen compuestos poliméricos o sólidos suspendidos presentan un comportamiento reológico no newtoniano que en muchos casos es viscoelástico (Rao, 2014).

La capacidad de los hidrocoloides de modificar la reología de los alimentos, es el fundamento de sus propiedades funcionales como agentes espesantes o gelificantes (Lefebvre y Doublier, 2004). Las propiedades reológicas que imparten los hidrocoloides dependen de su naturaleza química, peso molecular, estructura de sus cadenas, presencia de grupos con carga iónica y las interacciones intermoleculares o con las moléculas del medio (Ward *et al.*, 2005; Williams y Phillips, 2009; Yemenicioğlu *et al.*, 2019). Los polímeros lineales y rígidos proporcionan dispersiones de mayor viscosidad que polímeros ramificados y flexibles con la misma masa molecular debido a su tamaño hidrodinámico. Los hidrocoloides con carga en su molécula generan dispersiones de mayor viscosidad que los formados por polisacáridos neutros, debido a que la variación del pH o de la fuerza iónica en compuestos con grupos cargados provoca cambios en su configuración, generalmente compactación de las espirales y una disminución en su viscosidad (Williams y Phillips, 2009; Yemenicioğlu *et al.*, 2020).

3.4.2. Comportamiento reológico

Se acuerdo con su comportamiento de flujo o de deformación los materiales se pueden clasificar en diferentes grupos como se muestra en la **Figura 3**.

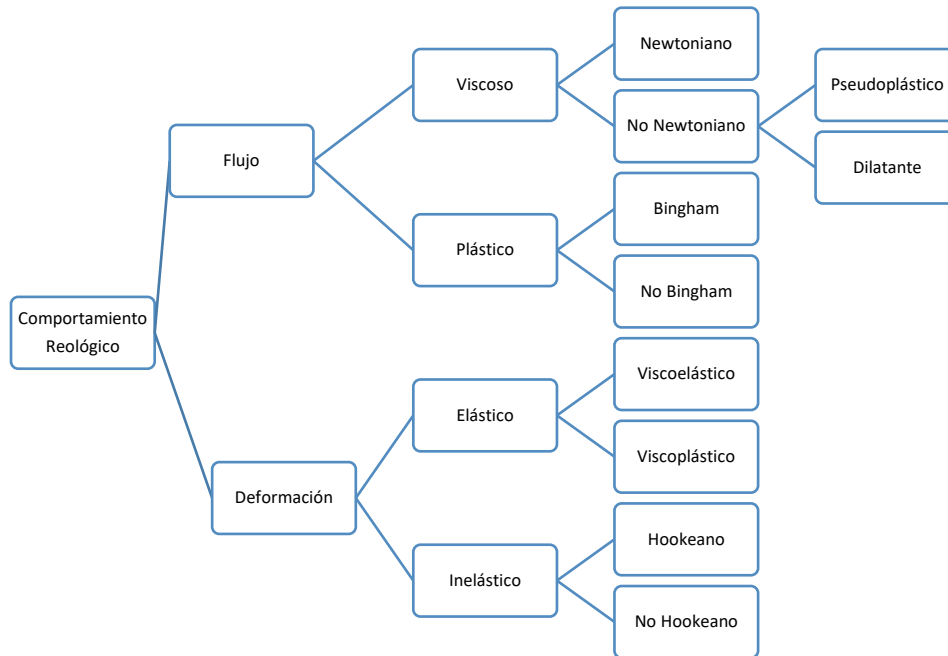


Figura 3. Tipos de comportamiento reológico, tomado de Sahin y Sumnu (2006).

Los fluidos pueden presentar un comportamiento viscoso o plástico. Los fluidos viscosos se deforman de forma continua cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellos y se clasifican en newtonianos y no newtonianos. Los fluidos newtonianos son aquellos que cumplen con el modelo de Newton (ecuación 1) que establece que la velocidad de corte o cizalla ($\dot{\gamma}$) es directamente proporcional al esfuerzo aplicado (τ), donde la constante de proporcionalidad es la viscosidad (μ), que representa la resistencia que presenta un fluido a fluir.

$$\tau = - \mu \dot{\gamma} \quad (\text{ecuación 1})$$

Muchos de los alimentos líquidos cuyo contenido de agua es alto muestran comportamiento newtoniano; por ejemplo los jugos, el té, el café, la cerveza y las bebidas carbonatadas (Sahin y Sumnu, 2006).

En los fluidos no newtonianos, la viscosidad varía en función de la velocidad de corte y por ello, se denota con el término viscosidad aparente (η_a). Su comportamiento se describe por un modelo empírico (Rao, 2014) denominado de ley de potencia o de Ostwald-de Waele (ecuaciones 2 y 3). Este modelo solo contempla dos parámetros: índice de viscosidad (n) e índice de consistencia (K) y por ello, se ha utilizado ampliamente en la caracterización de productos.

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (\text{ecuación 2})$$

$$\eta_a = K\dot{\gamma}^{n-1} \quad (\text{ecuación 3})$$

Donde:

K : índice de consistencia (Pa sⁿ)

n : índice de flujo (adimensional)

$\dot{\gamma}$: velocidad de corte o cizalla (s⁻¹)

η_a : viscosidad aparente (Pa s)

τ : esfuerzo de corte o cizalla (Pa)

El índice de flujo describe el comportamiento reológico de un fluido. En los fluidos newtonianos $n = 1$, y la ley de potencia se convierte en la ley de Newton. Los fluidos no newtonianos se clasifican en pseudoplásticos (shear thinning) en los cuales la viscosidad aparente disminuye con el aumento de la velocidad de corte y el índice $n < 1$, y en espesantes (shear thickening) cuya viscosidad aparente aumenta al incrementarse la velocidad de corte y $n > 1$. La aproximación del índice de flujo al valor de 1 refleja la cercanía al comportamiento newtoniano del fluido (Rao, 2014).

En los fluidos pseudoplásticos el aumento en la velocidad de corte provoca que las largas moléculas de los hidrocoloides se desenreden y se alineen en dirección del flujo provocando una reducción de la viscosidad. El puré de banano y el jugo de naranja concentrado son casos de fluidos de este tipo. Las dispersiones de mucilagos de semillas presentan un comportamiento pseudoplástico, dado que las cadenas de los polímeros se alinean en la dirección del flujo cuando este aumenta (Soukoulis *et al.*,

2018). Por otro lado, el aumento de viscosidad en los fluidos espesantes puede deberse a la modificación de sus estructuras y un aumento en su tamaño resultado de la variación en la velocidad de corte (Rao, 2014).

Existen fluidos denominados tixotrópicos cuya viscosidad aparente disminuye con el tiempo cuando se aplica una velocidad de corte constante, como es el caso de la salsa de tomate. Este fenómeno es probablemente debido a la ruptura de la estructura del material conforme el efecto de cizalla continúa (Mathur, 2012).

Otro tipo de fluidos son denominados fluidos plásticos; en ellos, el fluido permanece rígido cuando se aplica una fuerza, hasta que se alcanza un esfuerzo llamado punto de fluencia (τ_0) a partir del cual el producto comienza a fluir; en este punto se da la transición de una deformación plástica a una deformación elástica. Este parámetro es un indicador de las fuerzas de cohesión de la estructura de un producto, y en una evaluación reológica corresponde al primer esfuerzo donde ocurre una deformación sin un incremento en el esfuerzo (Steffe, 1996). El punto de fluencia se ha asociado con la aceptación y la retención de estructura en los alimentos; por otro lado, el manejo de productos con un punto de fluencia alto representa un costo en el consumo extra de potencia. Por ello, posee importancia en el diseño de procesos y en la evaluación de la calidad de los productos (Ahmed, 2010). En la **Figura 4** se observa el comportamiento reológico de los fluidos viscosos y plásticos.

Existen dos tipos de fluidos plásticos: los fluidos de Bingham que luego de alcanzado el punto de fluencia, presentan un comportamiento newtoniano, dado que la viscosidad permanece constante al variar la velocidad de corte; y los fluidos no Bingham, cuya viscosidad presenta un comportamiento no newtoniano luego que alcanzan el punto de fluencia (Sahin y Sumnu, 2006).

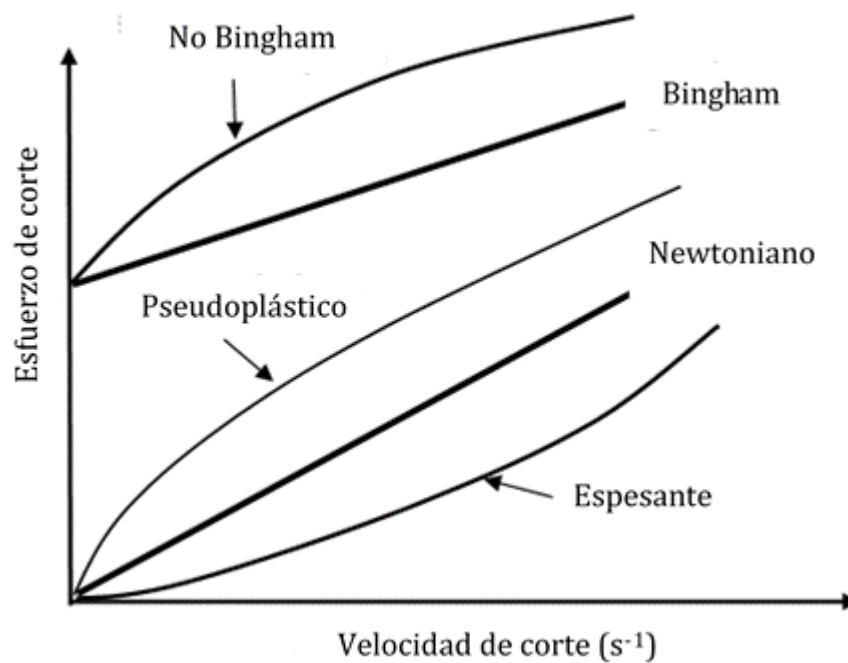


Figura 4. Comportamiento reológico de los diferentes tipos de fluidos.

Algunos de los alimentos que se comportan como fluidos plásticos son la salsa de tomate, la mayonesa o el queso untado. El comportamiento de los fluidos plásticos se puede describir por el modelo de Herschel-Bulkley (ecuación 4). En este caso, si $n = 1$ el producto se comporta como un plástico de Bingham.

$$\tau = \tau_0 + K_H \dot{\gamma}^n \quad (\text{ecuación 4})$$

Donde:

K_H : índice consistencia de Herschel-Bulkley (Pa s^n)

n : índice de flujo (adimensional)

τ_0 : punto de fluencia (Pa)

3.4.2.1. Efecto de la temperatura en la viscosidad

La viscosidad es una propiedad que varía con la temperatura del material, y esta dependencia se puede describir por una ecuación tipo Arrhenius (ecuación 5). Al presentarse un aumento de temperatura, las fuerzas cohesivas entre moléculas disminuyen y el flujo se facilita (Sahin y Sumnu, 2006). La energía de activación (E_a)

representa la barrera de energía que se debe superar para que inicie el flujo viscoso (Rao, 2014).

$$\eta_a = \eta_0 e^{(E_a/RT)} \quad (\text{ecuación 5})$$

Donde:

E_a = energía de activación (J/mol)

R = constante de los gases (8 314 J/mol K)

T = temperatura absoluta (K)

η_0 = constante de proporcionalidad (Pa s)

3.4.2.2. Efecto del pH en la viscosidad de hidrocoloides

La viscosidad de soluciones de polisacáridos neutros normalmente no se ve afectada por el pH y la fuerza iónica. Sin embargo, en el caso de polisacáridos con carga aniónica, debido a la presencia de grupos carboxilo o sulfato, su viscosidad es sensible a variaciones de pH o de fuerza iónica (Wang y Cui, 2005).

En hidrocoloides que presentan grupos carboxilo, una disminución del pH provoca un aumento en la forma no disociada, con una reducción en la repulsión electrostática que provoca un acercamiento y agrupación de las cadenas y una disminución de la viscosidad (Wang y Cui, 2005). Sin embargo, también se ha reportado un aumento en la viscosidad en hidrocoloides para valores de pH por debajo de 2,5-5,0 (Whistler y BeMiller, 1997); en estos casos se indica que la disminución en la repulsión provoca una asociación entre moléculas de los polisacáridos (Wang y Cui, 2005).

En estudios recientes se ha reportado el efecto de la variación del pH en la viscosidad de dispersiones de diferentes hidrocoloides (Medina-Torres *et al.*, 2000; Koocheki *et al.*, 2009; Koocheki *et al.*, 2013; Farahnaky *et al.*, 2013; Pérez-Orozco *et al.*, 2019).

3.4.2.3. Efecto de solutos en la viscosidad de hidrocoloides

El efecto de la concentración de iones en la viscosidad de un hidrocoloide es útil para evaluar su comportamiento como polielectrolito, y para conocer sus propiedades funcionales (Medina-Torres *et al.*, 2000).

Los polisacáridos aniónicos muestran una fuerte dependencia de la fuerza iónica existente descrita por la relación

$$\eta = \eta_{\infty} + SI^{-1/2} \quad (\text{ecuación 6})$$

Donde η_{∞} es la viscosidad a una fuerza iónica infinita, I es la fuerza iónica y S es un parámetro función de la rigidez de la molécula (Medina-Torres *et al.*, 2000).

Cuando los hidrocoloides presentan grupos aniónicos cargados, se produce repulsión entre ellos y una elongación de su cadena, que al poseer mayor extensión causa un incremento en la viscosidad (Hoeﬂer, 2004). La adición de sales iónicas, como NaCl o CaCl₂, en una dispersión de hidrocoloide, suministra contraiones que reducen la repulsión electrostática, provocando la contracción de las cadenas y una disminución de la viscosidad. Por ello, la viscosidad de los hidrocoloides con carga depende de la fuerza iónica del medio, donde normalmente la máxima viscosidad se obtiene a una baja fuerza iónica (Wang y Cui, 2005).

Se ha reportado que la presencia de sales como NaCl o CaCl₂ tiene un efecto en las propiedades reológicas de dispersiones de hidrocoloides (Medina-Torres *et al.*, 2000, Farahnaky *et al.*, 2013; Koocheki *et al.*, 2013).

Se ha evaluado el efecto de la adición de NaCl (10-250 mM) y sacarosa (1-20 % m/v) en la viscosidad aparente y las propiedades viscoelásticas de dispersiones al 0,5 % del hidrocoloide del chan (Pérez-Orozco *et al.*, 2019). La presencia de sal en estas concentraciones tuvo un efecto pequeño en las propiedades reológicas, en tanto que se señala que la adición de sacarosa puede provocar zonas de unión en la conformación del mucílago brindando un efecto estabilizante. Por otro lado, en el estudio del efecto de la adición de aditivos en dispersiones del hidrocoloide de chíá se concluye que las

propiedades reológicas son afectadas en mayor medida por la fuerza iónica del medio más que por su pH (Cuomo *et al.*, 2020).

Finalmente, también se ha encontrado que la presencia de azúcares como la sacarosa produce un aumento en la viscosidad en el caso de hidrocoloides de *Lepidium sativum* (Behrouzian *et al.*, 2013), *Lallemantia royleana* (Salehi *et al.*, 2014) y *Salvia macroshiphon* (Yousefi *et al.*, 2016).

3.4.3. Viscoelasticidad

El comportamiento de un material sólido ideal sometido a una fuerza se está descrito por la ley de Hooke (ecuación 6), que indica que el esfuerzo es proporcional a la deformación producida, donde la constante de proporcionalidad G se denomina módulo de elasticidad. Estos materiales son linealmente elásticos y no fluyen. Cuando la fuerza aplicada se suprime, se acaba la deformación y el material retoma su forma original (Steffe, 1996; Dogan y Kokini, 2007). Por otro lado, en un fluido viscoso al aplicar una fuerza se produce una deformación continua, que no se recupera cuando se deja de aplicar la fuerza y por tanto, no retoma su posición original.

$$\tau = G \gamma \quad (\text{ecuación 7})$$

Un material viscoelástico es aquel que presenta la existencia simultánea de propiedades viscosas de un fluido y elásticas de un sólido (Sahin y Sumnu, 2006). Las propiedades viscoelásticas se caracterizan por ser dependientes del tiempo y existe un ámbito donde la viscoelasticidad varía de forma lineal con el tiempo, donde se presenta el denominado comportamiento viscoelástico lineal (Pruska-Kedzior y Kedzior, 2007).

En los fluidos viscosos cuando se aplica una fuerza se produce una deformación continua, y al cesar la fuerza no retornan a su posición original; por otro lado, en los fluidos elásticos luego de la aplicación de una fuerza retornan a su posición original. Algunos alimentos presentan propiedades elásticas y plásticas a la vez y son conocidos como productos viscoelásticos, como el caso de la masa de panadería, la crema láctea o la mayonesa.

En un material donde un esfuerzo (σ_0) produce una deformación (γ_0) en un tiempo (t), el comportamiento viscoelástico lineal se puede describir mediante ecuación 8 en términos de un módulo de almacenamiento (G') que indica el comportamiento elástico y un módulo de pérdida (G'') que representa el comportamiento viscoso. Para un ciclo de deformación, el parámetro G' es la energía almacenada de forma plástica en el material, el valor G'' es la energía disipada en el flujo viscoso, en tanto que, el factor de pérdida $\tan \delta$ (ecuación 9) es una medida del desfase entre el esfuerzo y la deformación producidos (Saha y Bhattacharya, 2010), donde δ es el ángulo de cambio de fase o de pérdida (Mezger, 2011). Se ha encontrado que estos parámetros viscoelásticos tienen un papel influyente en la reología de los polisacáridos

$$\sigma_0 = G'\gamma_0 \sin \omega t + G''\gamma_0 \cos \omega t \quad (\text{ecuación 8})$$

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'} \quad (\text{ecuación 9})$$

La cantidad de fuerza que se transmite al material depende de su naturaleza viscoelástica. En los materiales donde predomina la naturaleza viscosa el esfuerzo aplicado se disipa en pérdidas por fricción, en tanto que en un material mayormente elástico la mayoría del esfuerzo se transmite (Mathur, 2012). Si el valor de G' es mucho mayor que G'' el material se asemeja más a un sólido, en tanto que, cuando G'' es mucho mayor que G' el comportamiento del material se aproxima al de un líquido. Los valores de G' y G'' son función de la frecuencia, la deformación y la temperatura (Rao, 2014).

3.4.4. Determinación de las propiedades reológicas

Uno de los equipos más empleados para medir las propiedades reológicas de los materiales es el reómetro rotacional (**Figura 5a**). Se utiliza un sistema de medición como plato que consta de un plato circular donde se coloca la muestra, al que se acerca un dispositivo de forma cónica a determinada distancia (gap), cuyo ángulo de inclinación (θ) y radio (R) se conocen (**Figura 5b**). El cono rota a determinada velocidad angular y se mide el torque de resistencia del fluido al aplicar rotación. En este tipo de equipos se trabaja con muestras pequeñas (1-5 mL), y permite medir la

viscosidad de una misma muestra en un rango de velocidades de corte; y en algunos casos se puede medir la viscosidad a determinado valor de velocidad de cizalla, aplicando una rampa de temperatura. Por otro lado, este tipo de equipos también permite realizar mediciones de reología oscilatoria.

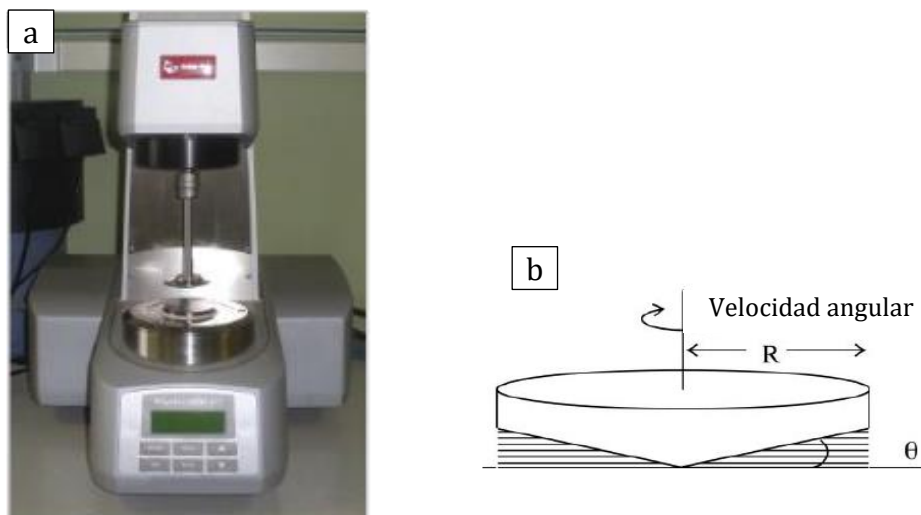


Figura 5. a) Reómetro rotacional Anton Paar MCR51 (b) disposición cono y plato

La evaluación de las propiedades reológicas de un material viscoelástico se realiza mediante ensayos oscilatorios o dinámicos, que se pueden efectuar en un reómetro con disposición cono y plato. En estas determinaciones, se somete el fluido a un pequeño esfuerzo o deformación oscilatoria sinusoidal a una frecuencia (ω), y se mide el desfase entre el esfuerzo y la deformación oscilatoria, así como la amplitud (Rao, 2014). La deformación aplicada produce dos tipos de esfuerzo en el material viscoelástico; uno elástico alineado con la deformación y otro viscoso desfasado 90° (Dogan y Kokini, 2007; Rao, 2014).

La estimación de los parámetros viscoelásticos en función de la frecuencia en el rango viscoelástico lineal brinda información importante sobre las propiedades reológicas de las dispersiones de hidrocoloides (Wang y Cui, 2005), que es valiosa para ajustar y reconocer parámetros como consistencia, estabilidad y características de textura en la formulación de productos (Razavi y Irani, 2019)

3.5. Propiedades de textura

Las propiedades empíricas de textura de dispersiones y geles como su firmeza, consistencia y cohesividad se miden con un texturómetro, mediante el ensayo de extrusión reversa (Cevoli *et al.*, 2013). Esta prueba se utiliza en productos viscosos como salsas de tomate, mayonesas o yogures.

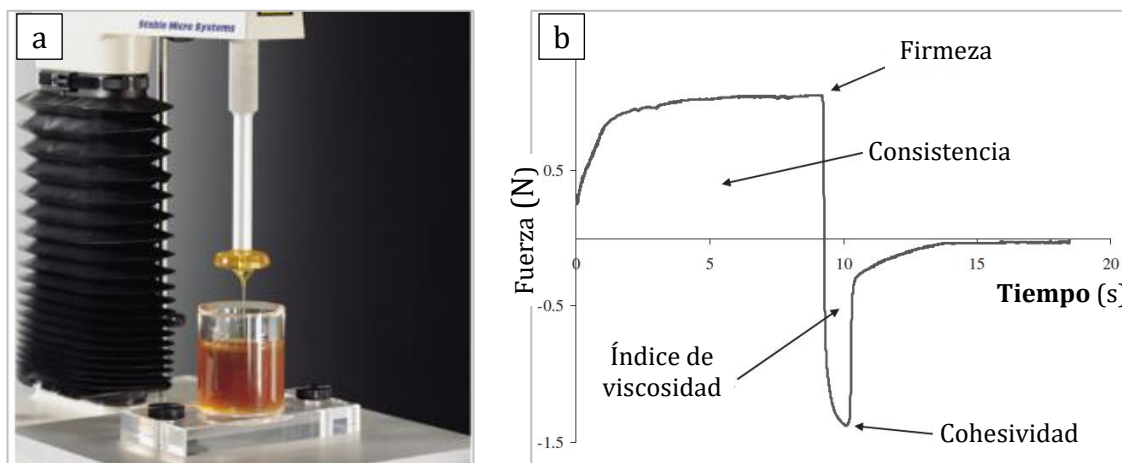


Figura 6. a) Texturómetro TA.XT en prueba de extrusión reversa. b) Gráfica fuerza-tiempo de una prueba de extrusión reversa.

La muestra de la dispersión se coloca en un recipiente donde se introduce una sonda en forma de disco (**Figura 6a**) a una velocidad específica hasta una profundidad determinada, luego de lo cual la sonda retorna a su posición inicial. El equipo mide de la fuerza en función del tiempo y se obtiene un gráfico como el mostrado en la **Figura 6b**. La firmeza (N) se establece como la máxima fuerza generada, en tanto que el área bajo la curva superior indica la consistencia ($N \cdot s$). La zona inferior del gráfico se genera en el retorno de la sonda luego de su penetración. La máxima fuerza negativa indica la cohesividad (N) y el área de la zona negativa refleja el índice de viscosidad ($N \cdot s$) (Kermany, 2010; Cevoli *et al.*, 2013).

4. Materiales y métodos

4.1. Localización del proyecto

El trabajo experimental se desarrolló en las instalaciones de la Escuela de Tecnología de Alimentos (ETA) y del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA), ubicados en la Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Universidad de Costa Rica, Montes de Oca; y en el Centro Nacional de Innovaciones Biotecnológicas (CENIBiot) ubicado en Pavas, San José.

Las corridas de extracción del mucílago del chan y la determinación de sus propiedades funcionales se efectuaron en el Laboratorio de Química de Alimentos de la ETA, el análisis de composición proximal de las semillas de chan fue realizado por el laboratorio de Química del CITA, en tanto la evaluación de las propiedades reológicas se efectuó en el Laboratorio de Química del CENIBiot.

4.2. Materia prima

Las semillas de chan se obtuvieron en paquetes de 130 g de la marca “Los Secretos de Mamá”, comprados en el comercio de San José. El producto se almacenó en refrigeración en recipientes plásticos cerrados hasta su utilización en los diferentes procesos de extracción y análisis planteados.

4.3. Composición proximal

4.3.1. Composición de las semillas de chan

Se determinaron, por triplicado, los siguientes parámetros de la composición de las semillas de chan: humedad, proteína, grasa, ceniza, fibra total, carbohidratos totales y azúcares simples por HPLC, cuyo valor se reporta como el promedio de cada parámetro con su intervalo de confianza. Los métodos de análisis empleados se describen en el apartado 4.6.11.

4.3.2. Composición del hidrocoloide del chan

La extracción del hidrocoloide del chan se realizó con base en la metodología descrita en estudios previos (Gowda, 1984; Vázquez-Galindo *et al.*, 2010) y en pruebas preliminares. A continuación, se describe el procedimiento utilizado:

- Se dispersa una masa conocida de semillas de chan en agua desionizada a T °C, en una relación agua semilla A:S en masa, con un agitador EUROSTAR power basic (IKA, Alemania) a una velocidad de V rpm durante una hora
- La suspensión obtenida se pasa por embudo Buchner sin filtro, conectado a vacío. Además, se utilizó la ayuda de una brocha para frotar las semillas sobre la superficie agujereada del embudo, para ejercer un efecto mecánico de ayuda para la separación del hidrocoloide.
- Se realiza una segunda separación en un embudo Buchner con un filtro fino (tela Tergal) con vacío, para separar partículas sólidas pequeñas de la dispersión.
- A la dispersión o extracto acuoso obtenido se agrega etanol 96 % v/v, en una proporción de X L de etanol/kg de extracto, y se agita suavemente para inducir la precipitación y separación del hidrocoloide. El producto se deja en refrigeración a 4 °C por doce horas, para obtener una precipitación completa.
- El hidrocoloide precipitado se separa del líquido con la ayuda de un colador o tamiz, y se exprime para eliminar la mayor cantidad de líquido.
- Se efectúa un lavado con una cantidad adicional de etanol al 96 % en una proporción X L etanol/kg precipitado. El líquido se remueve por filtrado y prensado de la misma forma descrita.
- El precipitado se seca a 50 °C en un deshidratador de convección modelo 3500B (Excalibur, California).
- El hidrocoloide seco se muele en un molino ultracentrífugo ZM 200 (Restch, Alemania) hasta obtener un polvo fino que pase por una malla de 250 µm.

Se determinaron los parámetros de la composición del hidrocoloide en polvo: humedad, proteína, grasa, ceniza, fibra total, carbohidratos totales y azúcares simples por HPLC. Las determinaciones se realizaron para tres diferentes corridas de extracción del hidrocoloide seco, a partir de un mismo lote de semilla. Se reporta el resultado de cada parámetro como el promedio con su intervalo de confianza ($\alpha= 0,05$).

4.4. Cinéticas de hidratación de las semillas de chan

Se colocan 5,00 g de semillas de chan en un tamiz metálico n°18 de apertura 1,00 mm (**Figura 7a**) y se registra su masa inicial para el tiempo cero. Para el proceso de hidratación, se sumerge el tamiz con semillas en un recipiente con agua desionizada a 22 °C (**Figura 7b**) y se comienza a registrar el tiempo. El tamiz se saca del baño por intervalos de tiempo (5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60,75, 90, 120, 150, 180, 240, 300, 360, 420 y 480 min), se escurre por 30 segundos, se registra la masa del tamiz y las semillas hidratadas, y se coloca de nuevo en el recipiente con agua. Se realizan tres repeticiones de la cinética de hidratación. Se graficó la cinética de hidratación como el contenido de agua de las semillas (M) en función del tiempo (t). Con los resultados, se evaluó el cumplimiento del modelo de Peleg para hidratación de semillas descrito por la ecuación 10 (Peleg, 1988).

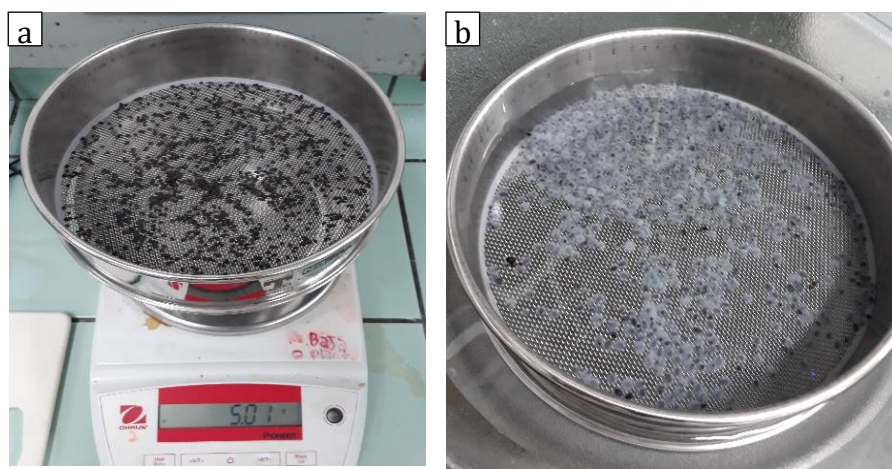


Figura 7. a) Tamiz con semillas de chan, b) Semillas de chan hidratadas en el tamiz con agua.

$$M = M_0 + \frac{t}{K_1 + K_2 t} \quad (\text{ecuación 10})$$

Donde:

K_1 : constante de velocidad de Peleg (min)

K_2 : constante de capacidad de Peleg (adimensional)

M : contenido de humedad (g agua/g semilla seca) al tiempo = t

M_0 : contenido de humedad (g agua/g semilla seca) al tiempo = 0

t : tiempo de hidratación (min)

4.5. Condiciones de extracción del hidrocoloide del chan

Se utilizó el procedimiento descrito en el apartado 4.4, con variación de los parámetros de extracción temperatura (T), relación agua/semillas (R_{as}) y tiempo de proceso (θ). En las corridas experimentales se utilizaron 50 g de semilla de chan, que se dispersó en agua desionizada con el agitador a una velocidad de V rpm.

4.5.1. Diseño experimental

Se utilizó un diseño central compuesto rotatable (DCCR) de tres factores: T , R_{as} y θ . Los valores de las variables para los diferentes niveles codificados se presentan en el **Cuadro 3**. Como variable respuesta se utilizó el rendimiento de extracción (R_E), calculado con la siguiente relación:

$$R_E = \frac{\text{masa del extracto seco}}{\text{masa inicial de semillas}} \quad (\text{ecuación 11})$$

Cuadro 3. Variables independientes del DCCR empleadas para evaluar las condiciones de extracción del HCH.

Variable independiente	Nivel codificado				
	-1,68	-1	0	+1	+1,68
	Niveles naturales				
Temperatura (°C)	25	37	55	73	85
Tiempo (min)	30	48	75	102	120
Relación agua/sustrato (g/g)	30	36	45	54	60

El DCCR empleado consta de 20 corridas que se muestran en el **Cuadro 4**, con ocho puntos factoriales, seis puntos axiales y seis réplicas del punto central, las cuales se utilizan para calcular la repetitividad del método. Para las pruebas, se utilizó un lote homogéneo de materia prima, que se realizaron de forma aleatoria para minimizar efectos de variabilidad no explicada debido a factores extraños en las respuestas obtenidas (Razavi *et al.*, 2009).

Cuadro 4. Valores de las variables de extracción de las corridas del diseño central compuesto utilizado en las extracciones.

Corrida	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Relación agua/sustrato (g/g)
1	37	48	36
2	73	48	36
3	37	102	36
4	73	48	36
5	37	48	54
6	73	102	54
7	37	102	54
8	73	102	54
9	25	75	45
10	85	75	45
11	55	30	45
12	55	120	45
13	55	75	30
14	55	75	60
15-20	55	75	45

Los rangos de las variables de extracción se establecieron con base en valores empleados en estudios de extracción de hidrocoloides de semillas similares a la del chan (Koocheki *et al.*, 2009, 2010; Razavi *et al.*, 2009; Bostan *et al.*, 2010; Karazhiyan *et al.*, 2011; Muñoz, 2012).

Se evalúa la temperatura de 25 °C como condición donde no se requiere calentar el agua, en tanto que, la temperatura de 85 °C es la máxima que se puede emplear para evitar pérdidas por evaporación. El valor inferior de R_{as} empleado es el mínimo que se puede usar para obtener una agitación adecuada, debido a que a valores menores se forma una dispersión muy viscosa.

4.6. Perfil reológico de las dispersiones del hidrocoloide del chan

4.6.1. Preparación de las dispersiones

Para obtener una suficiente cantidad del hidrocoloide seco para preparar las dispersiones utilizadas en la determinación del perfil reológico, se realizó una extracción a nivel de planta piloto bajo las siguientes condiciones: T °C, R_{as} kg agua/kg semilla y θ min, que se consideran suficientes para producir una hidratación completa del hidrocoloide.

Se preparó una dispersión de 1 kg de semillas de chan en X kg de agua. La extracción se realizó en una marmita con agitación (Groen, EUA) y la separación se efectuó en un separador mecánico rotatorio, malla de M mm, con recirculación de las semillas separadas. El equipo utilizado se aprecia en la **Figura 8**.

Las dispersiones del HCH se prepararon por agitación de una masa conocida de hidrocoloide en agua desionizada por 2 horas. Al igual que en estudios similares, se agregó un 0,02 % de azida de sodio como agente preservante antimicrobiano (Behrouzian *et al.*, 2013; Razavi *et al.*, 2014; Naji-Tabasi y Razavi, 2017). Las dispersiones se almacenaron al menos por 12 h a 4 °C antes de efectuar las mediciones. Las condiciones de preparación descritas sirven para asegurar una hidratación completa del hidrocoloide.



Figura 8. Extracción del HCH a nivel de planta piloto: a) dispersión de la semilla en la marmita b) obtención del mucílago en separador.

4.6.2. Determinación de las propiedades reológicas

Las mediciones se realizaron con un reómetro Physica MCR 51 (Anton Paar, Austria), con un aditamento de medición cono/plato CP25-1, diámetro de 25 mm, ángulo de 1° , con un sistema de control de temperatura P-LTD-180 ($\pm 0,01^\circ\text{C}$).

Para la determinación, la muestra se coloca en el plato de medición del reómetro con la ayuda de una espátula con el mínimo grado de manipulación. Se acciona el desplazamiento del cono superior hacia la muestra hasta alcanzar la distancia de medición, $\text{gap} = 0,099 \text{ mm}$. Con una espátula y papel absorbente se retira el exceso de dispersión de la periferia del cono/plato. Se deja que la muestra alcance la temperatura inicial de medición; y luego, permanece en reposo durante 10 minutos antes de iniciar la determinación.

Se realizaron mediciones del esfuerzo de corte (τ) en función de la velocidad de cizalla ($\dot{\gamma}$). Los valores obtenidos se utilizaron para calcular la viscosidad aparente (η_a) y para evaluar el comportamiento reológico mediante los modelos de Ostwald-de Waele (ecuación 3) y de Herschel-Bulkley (ecuación 4).

4.6.3. Efecto de la concentración en el comportamiento reológico

Se evaluó la variación de la viscosidad de dispersiones de HCH en función de la velocidad de cizalla en un rango de 0,2-1000 s⁻¹ en flujo estacionario a 25 °C, para las siguientes concentraciones del hidrocoloide: 0,20, 0,60, 1,00, 1,20, 1,50 y 2,00 g HCH/100 g dispersión. Con los valores obtenidos se corrieron regresiones de los modelos de Ostwald-de Waele y de Herschel-Bulkley se determinaron los parámetros de sus ecuaciones, así como el coeficiente de determinación R² para evaluar el ajuste de los valores experimentales a los modelos. Las determinaciones se realizaron por triplicado y se reporta el promedio de los índices de flujo y consistencia obtenidos con un intervalo de confianza del 95 %.

4.6.4. Efecto de la temperatura en el comportamiento reológico

Se midió la variación del esfuerzo de corte y la viscosidad en función de la temperatura para incrementos de 5 °C en un rango 20-80 °C a una velocidad de cizalla constante $\dot{\gamma} = 50 \text{ s}^{-1}$, para las siguientes concentraciones: 0,50, 0,75, 1,00, 1,50, y 2,00 g HCH/100 g dispersión. Para cada concentración se corrió la regresión del modelo descrito por una ecuación tipo Arrhenius (ecuación 5) para evaluar el efecto de la temperatura sobre la viscosidad aparente de las dispersiones.

4.6.5. Efecto del pH en el comportamiento reológico

Se evaluó, por cuatriplicado, la variación del esfuerzo de corte y la viscosidad en una rampa de velocidad de cizalla de 0,2-1000 s⁻¹ de dispersiones 1 g HCH/kg dispersión (1 %) a 25 °C, para diferentes valores de pH con incrementos de 1 en el rango 3,00-9,00. Las dispersiones se prepararon según lo indicado en el apartado 4.6.1 en tanto que su pH se ajustó con soluciones de NaOH o HCl 0,10 M, manteniendo una agitación continua. La evaluación de resultados se realizó de igual forma a lo indicado en el apartado.

4.6.6. Efecto de presencia de solutos en el comportamiento reológico

Se determinó, por quintuplicado, la variación del esfuerzo de corte y la viscosidad en una rampa de velocidad de cizalla de 1-1000 s⁻¹ de dispersiones 1 g HCH/kg a 25 °C, a las que se agregó cloruro de sodio (NaCl), cloruro de calcio (CaCl₂) o sacarosa, en diferentes concentraciones de conforme a lo descrito en el **Cuadro 5**. La evaluación de resultados se realizó de acuerdo con lo indicado en el apartado 4.6.3.

Cuadro 5. Composición de dispersiones 1 g HCH/100 g para evaluar el efecto de presencia de sales y azúcares.

NaCl (g/kg)	CaCl ₂ (g/kg)	Sacarosa (g/kg)
0	0	0
5,0	5,0	50,0
10,0	10,0	100,0
15,0	15,0	150,0
20,0	20,0	200,0

4.6.7. Comparación del comportamiento reológico de dispersiones del hidrocoloide del chan respecto al de dispersiones de gomas xantán, guar y carboximetilcelulosa

Se evaluó la variación del esfuerzo de corte y la viscosidad en una rampa de velocidad de cizalla de 0,2-1000 s⁻¹ de dispersiones de goma xantán y guar de concentración 1 g/100 g a 25 °C, para comparar su comportamiento reológico con respecto a una dispersión de HCH de la misma concentración.

4.6.8. Evaluación del comportamiento viscoelástico

Se empleó el reómetro Physica MCR 51 en modo oscilatorio con dispersiones de 2 g HCH/100 g dispersión. Esta concentración se estableció en pruebas preliminares y permite la adecuada evaluación de los parámetros viscoelásticos de la dispersión.

4.6.8.1. Barrido de amplitud

Se evaluó, por triplicado, el comportamiento de los módulos de almacenamiento (G') y pérdida (G'') de la dispersión del HCH en función de la deformación (γ) en un rango de $\gamma = 0,2-1000$ %, a un valor de frecuencia de oscilación (ω) constante de 10 rad/s a una temperatura de 20 °C.


4.6.8.2. Barrido de frecuencia

Se evaluó, por triplicado, el comportamiento de la viscosidad compleja (η^*) y los módulos de almacenamiento (G') y pérdida (G'') de la dispersión de HCH en la región viscoelástica lineal, en función de la frecuencia de deformación $\omega = 0,1-100$ rad/s, para una deformación constante $\gamma = 1$ % a una temperatura de 20 °C.

4.7. Propiedades de textura: ensayo de extrusión reversa

Se utilizó un texturómetro TA.XT plus (Texture Technologies, Nueva York), con una celda de carga de 50 kg. Se realizó un ensayo de extrusión reversa (back extrusion), por triplicado, para comparar el comportamiento de dispersiones 1g/100 g de HCH, goma guar, goma xantán y carboximetilcelulosa a una temperatura de 20 °C. En las pruebas se utilizó celda y las condiciones descritas en el **Cuadro 6**.

Cuadro 6. Condiciones de medición de la prueba de extrusión reversa.

Modo de prueba	Compresión	
Celda de carga	50 kg	
Tipo de sonda	Back extrusion rig, tipo A/BE-d45	
Velocidad previa a la prueba	1,50 mm/s	
Velocidad de prueba y posprueba	2,00 mm/s	
Distancia de recorrido	25,0 mm	

Se evaluaron los siguientes parámetros de textura: dureza, consistencia, cohesividad e índice de viscosidad que se reportan como el promedio de las mediciones con un intervalo de confianza del 95% (n = 3).

4.8. Evaluación de las propiedades funcionales de dispersiones del hidrocoloide del chan

Las diferentes propiedades funcionales se determinaron por triplicado y se reporta el promedio de las mediciones con un intervalo de confianza del 95 %. Se utilizó el HCH obtenido con las condiciones de extracción establecidas en el apartado 4.6.1.

4.8.1. Capacidad de retención de agua (CRA)

Se determinó por triplicado según la metodología descrita por (Chantaro *et al.*, 2008) con modificaciones. Se colocan 0,200 g (m_i) de muestra en un tubo de centrifuga de 50 mL, se humedecen con gotas de etanol, se agregan 45 mL de agua desionizada y agita con un agitador vortex por 1 min. Los tubos de centrifuga tapados se dejan en reposo por 18 horas a temperatura ambiente hasta alcanzar el equilibrio. Luego, la muestra se centrifuga a 3000 g por 20 min y se remueve el sobrenadante. Se registra la masa del residuo húmedo (P_h) en balanza analítica, se seca a 105 °C hasta masa constante y se pesa de nuevo (P_s). El valor de CRA se calcula como la cantidad de agua retenida por la muestra de la siguiente manera:

$$CRA = \frac{P_h - P_s}{P_s} \quad (\text{ecuación 12})$$

Donde:

CRA: capacidad de retención de agua (g agua/g masa seca)

P_h : masa del residuo centrifugado (g)

P_s : masa del residuo seco (g)

4.8.2. Solubilidad (S)

Se realizó de acuerdo con el procedimiento descrito por Betancur-Ancona *et al.*, (2003) con modificaciones. Se preparan 90,00 g de una dispersión 0,5 g HCH/100 g dispersión con agitación por 30 minutos a $T = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se centrifuga la dispersión a 3000 g por 20 minutos. Se pesan 20,00 g del sobrenadante en una cápsula Petri con balanza analítica, que se ponen a secar en un horno de convección a $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 4 hr hasta masa constante.

La solubilidad se determina como:

$$S = \frac{w_f}{m_i} \times \frac{90}{20} \times 100 \quad (\text{ecuación 13})$$

Donde:

m_i : masa inicial del HCH (g)

S: solubilidad (g /100 g HCH)

w_f : masa producto seco final (g)

4.8.3. Capacidad de adsorción de grasa (CAG)

Se determinó por triplicado según la metodología descrita por (Femenia *et al.*, 1997). Se colocan en un tubo de centrífuga 1 g de muestra de HCH con 12 mL de aceite de girasol, se mezclan con un vortex por 1 min, y se dejan en reposo por 18 horas a temperatura ambiente. Posteriormente, se centrifuga la mezcla a 1500 g por 5 min. El exceso de sobrenadante se decanta y se pesa el residuo.

$$\text{CAG} = \frac{g_2 - g_1}{g_1} \quad (\text{ecuación 14})$$

Donde:

CAG: capacidad de adsorción de grasa (g aceite/g masa seca)

g_1 : masa inicial de muestra (g)

g_2 : masa del residuo centrifugado (g)

4.8.4. Capacidad de hinchamiento (CH)

Se determinó de acuerdo con lo descrito por (Chantaro *et al.*, 2008). Se mezclan 0,20 g de muestra con 100 mL de agua destilada en una probeta graduada de 100 mL. Se deja en reposo por 18 horas a temperatura ambiente hasta alcanzar el equilibrio y se registra el volumen ocupado por la muestra. El valor de CH se calcula como:

$$CH = \frac{V_m}{P_i} \quad (\text{ecuación 15})$$

Donde:

CH: capacidad de hinchamiento (mL/g producto)

V_m : volumen de muestra hinchada (mL)

P_i : masa inicial de muestra (g)

4.8.5. Capacidad emulsificante (CE)

Se evaluó de acuerdo con el método propuesto por Sciarini *et al.* (2009). Se preparan 60 mL de suspensión del hidrocoloide a diferentes concentraciones (0,10, 0,25, 0,50 g muestra/100 mL solución), se agregan 6 mL de aceite comercial de girasol, que se dispersan con la ayuda de un homogeneizador y se mide el volumen ocupado V_o . Posteriormente, se centrifugan a 800 g por 10 minutos y se determina el volumen ocupado por la emulsión (V_e). El valor de CE se calcula como la relación entre el volumen de la emulsión dividido por el volumen total.

$$EC = \frac{V_e}{V_o} \quad (\text{ecuación 16})$$

Donde:

CE: capacidad emulsionante (mL emulsión/mL dispersión)

V_o : volumen inicial dispersión aceite + muestra (mL)

V_e : volumen ocupado por la emulsión luego del centrifugado (mL)

4.8.6. Estabilidad de la emulsión (EE)

La estabilidad de la emulsión (EE) se midió de acuerdo con el método propuesto por Koocheki *et al.* (2009). Se prepara una dispersión de 0,25 g de mucílago seco en 100 mL en agua desionizada a 80 °C con agitación continua por 30 minutos. La dispersión se enfría a temperatura ambiente y se almacena por 12 horas a 4 °C (para asegurar hidratación completa) antes de preparar la emulsión.

Se prepara una emulsión de aceite en agua (20:80) agregando 20 g de aceite de girasol en 80 g de la dispersión del hidrocoloide hidratado y se mezcla con ayuda de un agitador eléctrico. Luego de 3 minutos de mezclado, la emulsión cruda se procesa a temperatura ambiente con un homogeneizador Ultra-Turrax (IKA, Alemania) a 9500 rpm por 1 minuto y se mide el volumen inicial de la emulsión V_{ei} . El producto homogeneizado, se coloca en un baño de agua a 80 °C por 30 min, y se centrifuga a 1200 g por 10 minutos y se mide el volumen final ocupado por la emulsión V_{ef} . El valor de EE se calcula con la siguiente relación:

$$EE = \frac{V_{ef}}{V_{ei}} \quad (\text{ecuación 17})$$

Donde:

EE: estabilidad de la emulsión (mL emulsión/mL dispersión)

V_{ei} : volumen inicial de la emulsión (mL)

V_{ef} : volumen final luego de tratamiento térmico y centrifugado (mL)

4.9. Métodos de análisis químico

4.9.1. Determinación del contenido de humedad

Se determinó de acuerdo con el procedimiento AOAC 925.40 Moisture in Nuts and Nuts Products. (AOAC, 2005), que consiste en determinar la pérdida de masa por la evaporación del agua de la muestra coloca en una estufa a 95-100 °C por 5 horas.

4.9.2. Determinación del contenido de proteína

Se determinó de acuerdo con el procedimiento AOAC 950.48 Protein (Crude) in Nuts and Nuts Products (AOAC, 2005). La determinación se basa en la determinación de nitrógeno por el método de Kjeldahl, donde la muestra se digiere con ácido sulfúrico concentrado que provoca la oxidación de la materia orgánica y la reducción del nitrógeno orgánico a amonio. El amonio formado se transforma en amoniaco por adición de un exceso de NaOH. El amonio producido se destila en una solución de ácido bórico de concentración conocida, formándose borato de amonio el cual se valora con ácido clorhídrico.

4.9.3. Determinación del contenido de grasa

Se determinó de acuerdo con el procedimiento AOAC 948.22 Fat (Crude) in Nuts and Nut Products (AOAC, 2005) y Carpenter *et al.* (1993). La grasa se extrae de la muestra con éter etílico o de petróleo en un extracto Soxhlet por 16 horas. Luego el solvente se elimina por evaporación al vacío y se determina la masa de la grasa extraída.

4.9.4. Determinación de composición de los ácidos grasos

Se determinaron los ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados por cromatografía de gases con base en los métodos AOAC 996.06 (AOAC, 2005) y AOCS Ce 1e-91 (AOCS, 2000). Los ácidos grasos de la muestra son extraídos con éter de petróleo y luego son derivatizados a sus ésteres metílicos, en una solución de BF₃ en metanol y 1 mL de tolueno. Estos ésteres son compuestos volátiles que se detectan por cromatografía de gases en un equipo GC-2014 con autoinyector AOC-20i (Shimadzu, Japón), empleando una columna SP™ 2560 100 m x 0,25 mm x 0,2 µm de alta polaridad, estacionaria de poli biscianopropilsiloxano (Supelco, EUA).

4.9.5. Determinación del contenido de cenizas

Se determinó de acuerdo con lo descrito en el método 950.49 de la AOAC (2005), que consiste en la medir la masa del residuo inorgánico que resulta al calcinar la

muestra a 525 °C por 4 horas. Este residuo está formado por sales y óxidos de los cationes presentes como sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso y otros.

4.9.6. Determinación del contenido de fibra total

Se determinó de acuerdo con el procedimiento AOAC 985.29 Total Dietary Fiber in Foods (AOAC, 2005). Para la determinación, la muestra se somete a una hidrólisis enzimática en etapas sucesivas con α -amilasa, proteasa y amiloglicosidasa que simulan el proceso de digestión humana. Luego de la digestión enzimática, se agrega etanol concentrado a 60 °C, para precipitar la fibra soluble. Luego, el material insoluble se separa por filtración, se seca y se pesa para obtener la masa de la fibra total

4.9.7. Carbohidratos totales

Se calculan por diferencia de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Carbohidratos totales} = 100 - \%H - \%P - \%G - \%C \quad (\text{ecuación 18})$$

Donde:

%H: g humedad/100 g muestra

%P: g proteína/100 g muestra

%G: g grasa/100 g muestra

%C: g cenizas/100 g muestra

4.9.8. Azúcares simples

El contenido de azúcares simples se determinó por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) con base en lo descrito por Sullivan y Carpenter (1993) y OAC (2005). El método consiste en la inyección de la muestra en una columna C18 Phenomenex Luna® NH₂, tamaño de poro 100Å, dimensiones 150 mm x 2 mm, para obtener la separación de los azúcares presentes. La cuantificación e identificación de los azúcares se realizó con un detector de índice de refracción, inyectando patrones de sacarosa, glucosa y fructosa de concentración conocidas, para la calibración de las concentraciones en el equipo y para la identificación por los tiempos de retención. La concentración de los azúcares se reporta como g compuesto/100 g muestra.

5. Resultados y discusión

5.1. Composición proximal de la semilla de chan

En el **Cuadro 7** se presentan resultados de la composición proximal de las semillas de chan y de otras semillas mucilaginosas de la familia Lamiaceae, incluida la composición promedio de dos variedades de chan: violeta y blanca, por el color de su flor del estado de Colima, México (Vázquez-Galindo *et al.*, 2010).

Cuadro 7. Composición proximal de semillas mucilaginosas.

Composición (g/100 g)	Humedad	Proteína ¹	Grasa ¹	Cenizas ¹	Carbohidratos totales ¹
<i>Hyptis suaveolens</i> ²	12,08 ± 0,80	20,42 ± 1,01	20,39 ± 0,89	4,75 ± 0,19	54,52 ± 2,35
<i>Hyptis suaveolens</i> ³	5,42 ± 0,64	14,91 ± 0,87	16,89 ± 0,30	4,18 ± 0,49	64,19 ± 0,40
<i>Salvia hispánica</i> ⁴	5,82 ± 0,04	26,88 ± 0,22	32,07 ± 0,02	4,32 ± 0,02	36,71 ± 0,28
<i>Ocimum basilicum</i> ⁵	9,4 ± 0,32	10,00 ± 0,46	33,0 ± 0,61	5,6 ± 0,22	43,90 ± 0,22
<i>Lepidium sativum</i> ⁶	5,29 ± 0,15	24,22 ± 0,93	24,7 ± 1,6	5,33 ± 0,12	45,94 ± 2,68

¹ Valores en base seca, como promedio ± intervalo confianza (n = 4), con nivel de confianza del 95 %. ²Presente estudio, ³Vázquez-Galindo *et al.*, 2010, ⁴Marineli *et al.*, 2014, ⁵Nazir *et al.*, 2017, ⁶Karazhiyan *et al.*, 2011.

El contenido de humedad de las semillas de chan del presente estudio es mayor al de otras semillas, que se puede reducir con un secado más intenso. Se observa que las semillas de chan de este estudio muestran un contenido mayor de proteína y grasa que las semillas de chan (*H. suaveolens*) de Colima, reportadas por Vázquez-Galindo *et al.*, (2010); en tanto que, su contenido de cenizas es similar y la cantidad de carbohidratos totales menor.

En un estudio de las fracciones de la proteína del chan de Colima (Aguirre *et al.*, 2012), se reporta que el contenido de proteínas en base seca de las semillas del chan

es de 13,9 %, que resulta bastante menor al encontrado en el presente trabajo. Esta diferencia puede deberse a diferencias en las condiciones de cultivo o en la variedad estudiada. Los autores señalan que la proteína del chan de Colima está compuesta por 39 % de globulinas, 36 % de glutelinas, 24 % de albuminas y 1 % de prolaminas. Al comparar el contenido proteico con otras especies de semillas mucilaginosas, se encuentra que es menor al de *S. hispanica* y de *L. sativum*, pero mayor al de *O. basilicum*.

El contenido de grasa (bs) del chan es menor al encontrado en las otras especies de semillas mucilaginosas, en tanto que su contenido de cenizas (bs) es parecido y se encuentra entre 4-6 %. Por otro lado, el contenido de carbohidratos del chan representa en más de la mitad del contenido de sólidos de la semilla y es mayor al encontrado para la chía, albahaca y *Lepidium sativum*.

La composición de los ácidos grasos del aceite extraído de la semilla del chan se muestra en el **Cuadro 8**, donde se compara con la composición de los ácidos grasos de aceites de girasol, maíz y uva. Se resalta un alto contenido del ácido linoleico (C18:2) de casi 80 %, un poco mayor al presente en el aceite de uva

Cuadro 8. Composición de los ácidos grasos presentes en aceite de la semilla de chan y otros aceites comestibles.

Composición (g/100 g)	Chan ¹	Girasol ²	Maíz ³	Uva ²
Saturado	11,8	9,0	13-16	10,1
Palmítico (C16:0)	8,7	6,2	11-13	6,6
Esteárico (C18:0)	2,5	2,8	2-3	3,5
Monoinsaturados	7,80	28,0	25-31	14,3
Oleico (C18:1)	7,5	28,0	25-31	14,3
Poliinsaturados	79,9	62,4	55-61	74,9
Linoleico (C18:2)	79,5	62,2	54-60	74,7
Linolénico (C18:3)	0,42	0,16	1	0,15

¹Presente estudio, ²Garavaglia *et al.*, 2016, ³Corn Refiners Association, 2006

Se resalta un alto contenido del ácido linoleico (C18:2) de casi 80 %, un poco mayor al presente en el aceite de uva. El contenido de ácidos grasos saturados (11,8 %) es bajo y similar al de los otros aceites mostrados en el cuadro. La cantidad del aceite

linolénico (C18:3) es menor al 1 %, al igual que para los otros aceites. Este contenido de ácido linolénico contrasta con el encontrado en el aceite de chía que es de un 65-70 % (Ixtaina *et al.*, 2011).

5.2. Cinética de hidratación de las semillas

En la **Figura 9** se muestra el comportamiento de la hidratación de las semillas de chan a 22 °C. Al inicio las semillas se hidratan rápidamente, de forma que a los 30 minutos han absorbido una cantidad de agua que equivale a 11-12 veces su masa respecto a la masa de la semilla seca. La velocidad de hidratación es alta durante las

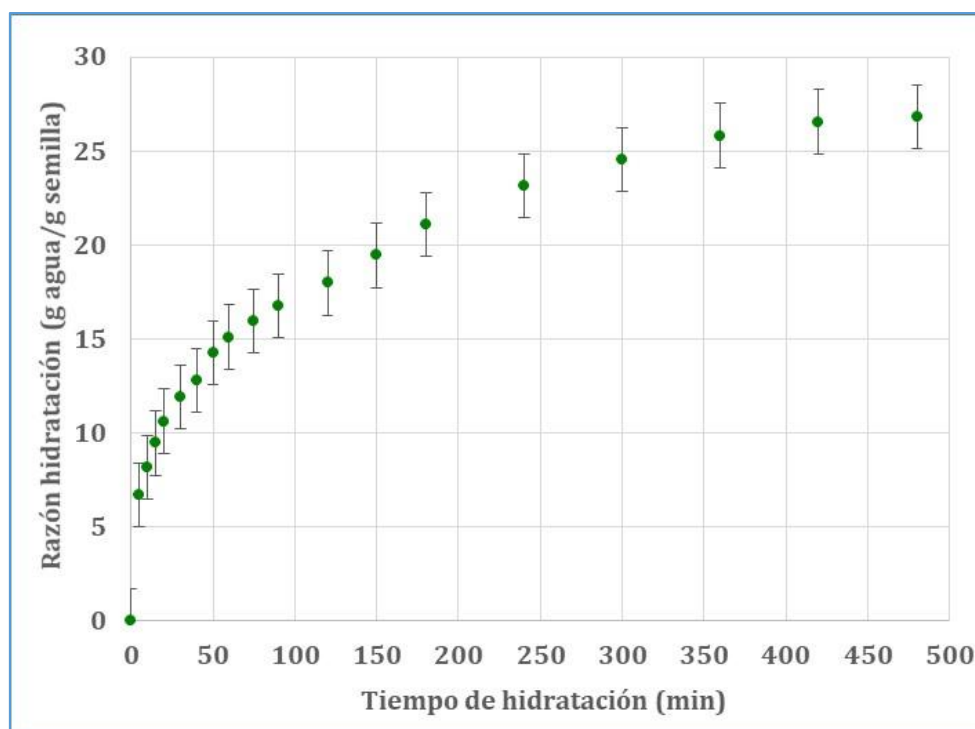


Figura 9. Cinética de hidratación promedio de las semillas de chan a 22 °C, con su error típico a un intervalo de confianza al 95 %, n = 3.

primeras dos horas, luego de lo cual va decreciendo. A las tres horas las semillas han absorbido 20 veces su masa en agua y a las 8 horas se ha alcanzado un contenido de agua promedio de 27 g agua/g semilla. En un estudio realizado con semillas de chía se reporta un contenido de agua de 7-8 g /g semilla luego de 8 horas de hidratación. Para semillas de linaza se reporta que se obtiene una hidratación de 10 g agua/g semilla a

20 °C luego de 8 horas; la cual aumenta considerablemente, por efecto de la temperatura, a un valor de 36-37 g agua/g semilla a 80°C por 8 h (Ziolkovska, 2012).

Se evaluó el comportamiento cinético de hidratación con el modelo de Peleg (ecuación 10), que se transformó para obtener la relación lineal de la ecuación 19. En el presente caso, el contenido de humedad inicial M_0 se supone igual a cero.

$$\frac{t}{M-M_0} = K_1 + K_2 t \quad \text{ecuación 19}$$

La evaluación estadística de la regresión de los resultados al modelo se muestra en el **Cuadro 9**. La probabilidad del modelo es significativa y los coeficientes de regresión son 0,984 lo que indica que el modelo de Peleg describe adecuadamente la cinética de hidratación de las semillas de chan.

Cuadro 9. Parámetros estadísticos de ajuste y bondad de las cinéticas de hidratación respecto al modelo de Peleg.

Variable	K_1 (min)	K_2 (adim)	p_{modelo}	R^2	R^2_{adj}	Distribución residuos
M	$1,65 \pm 0,11$	$0,035 \pm 0,002$	<0,001	0,984	0,984	aleatoria

La constante K_1 se relaciona con la tasa de transferencia de masa, donde una disminución en el valor K_1 indica un aumento en la tasa de hidratación (Turhan *et al.*, 2002). Por otro lado, el parámetro K_2 está relacionado con la máxima capacidad de absorción de agua, de forma que una disminución del valor de K_2 resulta en una mayor capacidad de hidratación de la semilla (Turhan *et al.*, 2002).

5.3. Evaluación de las condiciones de extracción del hidrocoloide

Los rendimientos de extracción para las condiciones de T , R_{as} y θ del diseño experimental efectuado se presentan en el **Cuadro 10**. Los rendimientos obtenidos oscilan entre 6,18 y 6,84 g HCH/100 g semilla.

Cuadro 10. Rendimientos de extracción del hidrocoloide del chan obtenidos en los tratamientos del diseño central compuesto de tres factores.

Corrida	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Razón agua/sustrato (kg agua/kg semilla)	Rendimiento (g HCH/100 g chan)
1	37	48	36	6,58
2	73	48	36	6,82
3	37	102	36	6,70
4	73	102	36	6,84
5	37	48	54	6,74
6	73	48	54	6,58
7	37	102	54	6,64
8	73	102	54	6,60
9	25	75	45	6,26
10	85	75	45	6,68
11	55	30	45	6,66
12	55	120	45	6,46
13	55	75	30	6,58
14	55	75	60	6,70
15	55	75	45	6,60
16	55	75	45	6,28
17	55	75	45	6,52
18	55	75	45	6,28
19	55	75	45	6,18
20	55	75	45	6,46
Promedio				6,56

Los bajos valores de los coeficientes de determinación R^2 y R^2_{adj} indican que el modelo obtenido no es correcto para expresar el comportamiento de la extracción en función de las variables evaluadas. El valor R^2_{adj} tan bajo (0,2603) indica que solamente en un 26 % de la variación del rendimiento es explicado por las variables presentes en

en el modelo cuadrático, que indica que el rendimiento no se logra expresar como función de las variables lineales, cuadráticas o la interacción de ellas.

Los parámetros estadísticos para la evaluación del modelo de regresión se encuentran en el **Cuadro 11**. Del análisis de varianza de los resultados se obtiene que la probabilidad es no significativa ($p > 0,05$), por lo que el modelo cuadrático obtenido no es adecuado para describir el comportamiento del rendimiento del HCH en función de la variables T, R_{as} y θ .

Cuadro 11. Parámetros estadísticos de ajuste y bondad de los resultados del diseño central compuesto.

Variable	P_{modelo}	R^2	R^2_{adj}	$P_{\text{falta ajuste}}$	Distribución de residuos
Rendimiento	0,1995	0,6107	0,2603	0,5301	aleatoria

En una gráfica de valores experimentales en función de los valores predichos por un modelo, cuanto más se aproximen los datos a la diagonal, mayor es la bondad del modelo. En la **Figura 10** se presenta la gráfica de los rendimientos experimentales en función de los predichos, donde se observan varios puntos alejados de la línea diagonal roja, indicando que no son predichos adecuadamente por el modelo.

El promedio de los rendimientos experimentales fue de $6,56 \pm 0,19$ %, con una variabilidad bastante pequeña de 2,9 %, en tanto que el promedio en las condiciones del punto central fue de $6,39 \pm 0,16$ %. Lo anterior indica que los rendimientos para las diferentes condiciones experimentales difieren poco entre ellos.

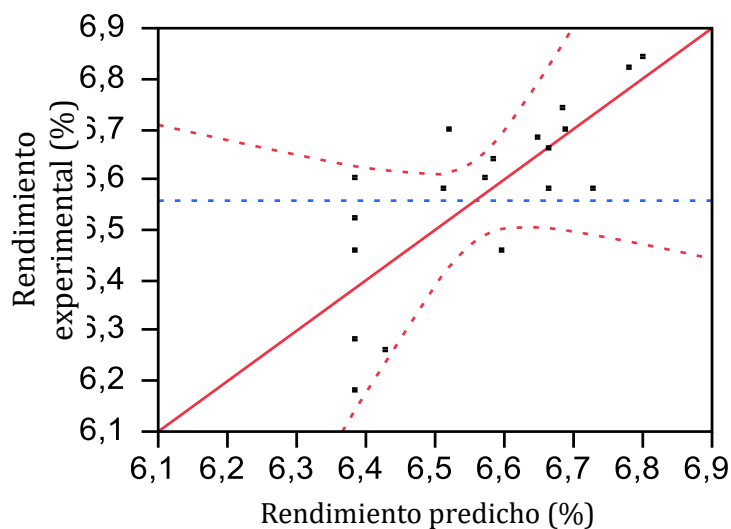


Figura 10. Relación entre el rendimiento experimental y el predicho de la extracción del hidrocoloide del chan.

Era de esperar que un aumento de la temperatura y del tiempo de extracción favorecieran la hidratación del mucílago, que luego debe separarse de la semilla de forma mecánica. En la evaluación de las condiciones de hidratación del mucílago de la linaza, Ziolkovska (2012) determinó que la absorción de agua de la semilla aumenta al incrementar la temperatura de 20 a 80 °C; también reporta que el rendimiento del mucílago aumenta con el tiempo de extracción y con el aumento de la velocidad de agitación de 60 a 240 rpm. Por otro lado, el rendimiento del mucílago de linaza aumenta al subir la temperatura de 30 a 90 °C con una extracción con agitador magnético, pero también afecta la composición del hidrocoloide obtenido ya que aumenta su contenido de proteínas y cenizas (Kaushik *et al.*, 2017).

En la extracción del hidrocoloide de *Salvia machosiphon* no se encontró un efecto significativo en el rendimiento al aumentar la temperatura de 25 a 65 °C, y se reporta que la hidratación a 25 °C por 30 min es suficiente para la extracción del hidrocoloide (Farahnaky *et al.*, 2013). Este resultado puede deberse al empleo de fuerzas de cizalla fuertes para raspar y separar el mucílago de las semillas que puede haber reducido el impacto de la solubilidad del mucílago (Farahnaky *et al.*, 2019).

Se recomienda emplear una agitación que genere un buen mezclado de las semillas con el agua para reducir el uso de altas temperaturas y largos tiempos, pero evitando que las fuerza mecánicas rompan las semillas (Farahnaky *et al.*, 2019). En las corridas experimentales del presente trabajo se utilizó una velocidad de V rpm que provocó, en todas las circunstancias, un movimiento continuo de las semillas presentes en el medio de extracción.

Para la extracción del mucílago de chía se indica que las variables de extracción puede clasificarse en el siguiente orden de importancia respecto al efecto que tienen sobre el rendimiento del hidrocoloide: temperatura > relación agua/semilla > tiempo (Campos *et al.*, 2016).

La relación sustrato semilla afecta el rendimiento, la eficiencia de producción y las propiedades reológicas de los hidrocoloides obtenidos. Se obtienen mayores rendimientos con valores de R_{as} bajos, pero los costos de operación pueden aumentar en las operaciones de mezclado y separación por la alta viscosidad de las dispersiones. Hay que tomar en cuenta que el agua que se emplea en la extracción, debe eliminarse posteriormente durante el secado, lo cual aumenta los costos de operación (Farahnaky *et al.*, 2019).

Dado, que el modelo obtenido a partir de los resultados experimentales no es adecuado para describir el comportamiento de extracción, no es posible contrastar estos efectos en el rendimiento de extracción del hidrocoloide del chan.

5.3.1. Efecto del proceso de separación del hidrocoloide en el rendimiento

La obtención del mucílago debe ser vista como un proceso de dos etapas: una operación de hidratación donde se deben controlar las variables temperatura, agitación, tiempo y relación agua/semilla, seguida de una operación de separación del mucílago hidratado de la semilla. Por tanto, el rendimiento de extracción es afectado por el procedimiento empleado en la separación del mucílago de las semillas. En el caso del chan se observa que el mucílago está fuertemente adherido a la superficie de la semilla.

En el presente trabajo, la separación del mucílago de las semillas se efectuó de forma manual frotando la dispersión con una brocha sobre la superficie de un filtro Buchner, conectado al vacío, como se observa en la **Figura 11**. Este proceso manual genera variabilidad en los resultados dependiendo de la forma en que se realice. En las corridas experimentales se intentó estandarizar la separación, y por ello, es una posible razón por la que se generaron rendimientos uniformes. Sin embargo, siempre queda una cantidad de mucílago viscoso fuertemente adherido a la testa de las semillas.



Figura 11. Equipo empleado en la separación del mucílago de las semillas del chan para las corridas del diseño experimental.

El mucílago de la dispersión es muy viscoso, y para separarlo de las semillas se requiere aplicar una fuerza mecánica, procedimiento que se reporta en varios trabajos similares que indican el uso de un dispositivo rotatorio que raspa la capa del mucílago de la superficie de la semilla (Razavi *et al.*, 2009, Karazhiyan *et al.*, 2011, Farahnaky *et al.*, 2013, Behbahani *et al.*, 2017). En el laboratorio donde se realizaron los experimentos no se cuenta con este tipo de equipo.

Para el procesamiento de alimentos, se dispone de equipos empleados para separar de forma mecánica la pulpa de las frutas de sus semillas, cáscaras y otras partes duras. En la parte interna del equipo, los trozos de fruta son impulsados por la rotación de paletas de metal sobre las paredes de un tamiz cilíndrico, que provoca que el

material de tamaño menor pase por los orificios del tamiz para producir la pulpa, en tanto que las partes de mayor tamaño son retenidas y separadas. A nivel piloto, se cuenta con equipos de despulpado que operan con cargas pequeñas de 5-6 kg de alimentación.

Por tanto, se realizó un experimento de tres corridas con un equipo de separación piloto, utilizando un tamiz de malla M mm de diámetro, que retiene efectivamente las semillas de chan, y deja pasar el mucílago. Como hipótesis se planteó que este equipo de separación piloto permite la separación del mucílago de la dispersión de semillas hidratadas con un mayor rendimiento que el obtenido con el procedimiento realizado a nivel de laboratorio.

Para la prueba se utilizaron las siguientes condiciones de extracción: T °C, R_{as} g agua/g semilla, agitación a V rpm por M minutos con una propela marina. Luego de la extracción, la dispersión permaneció en reposo por 18 horas previo al procesamiento en el equipo de separación. El valor de R_{as} seleccionado produce una dispersión con mayor viscosidad respecto a utilizar una R_{as} con mayor cantidad de agua; por tanto, esta condición no favorece la operación de transferencia del mucílago de la semilla al medio, debida a la oposición ejercida por el medio viscoso. Por otro lado, el empleo de la temperatura mas baja del rango experimental estudiado, tampoco favorece la operación de extracción, ya que se conoce que un aumento en la temperatura brinda mayor energía y movimiento de las partículas del medio, y que por ello, se pueden transportar con mayor facilidad.

Se encontró que el equipo de separación piloto permite separar el mucílago de la dispersión de semillas hidratadas. Sin embargo, también se observó que con una sola pasada de la dispersión por el equipo solo se obtiene una separación parcial del mucílago. Por ello, para aumentar el rendimiento de separación del mucílago, se optó por recircular el residuo separado varias veces, de forma que la operación de separación se realizó en N etapas o pasadas por el equipo.

La comparación del rendimiento de mucílago obtenido a nivel de laboratorio y con el equipo de separación piloto se observan el **Cuadro 12**. Con el proceso mecánico se obtuvo una separación del 84,9 % del mucílago de la dispersión de la semilla hidratada, que luego de las operaciones de precipitación, filtración y secado produjo un rendimiento de 10,7 %, considerablemente mayor al valor 6,56 % que fue el rendimiento promedio obtenido en las extracciones realizadas a nivel de laboratorio (n = 20). Es evidente que el procedimiento de separación tiene gran influencia en el rendimiento del hidrocoloide del chan.

Cuadro 12. Rendimientos de separación del mucílago y de extracción del hidrocoloide del chan obtenidos en equipo separador a nivel piloto (n = 3).

Rendimiento de separación (g mucílago/100 g dispersión)	Rendimiento de extracción (g HCH/100 g semilla de chan)
84,9 ± 2,5	10,7 ± 0,6

A partir de los resultados anteriores se propone el siguiente proceso de extracción del hidrocoloide del chan seco en polvo que se detalla en la **Figura 12**.

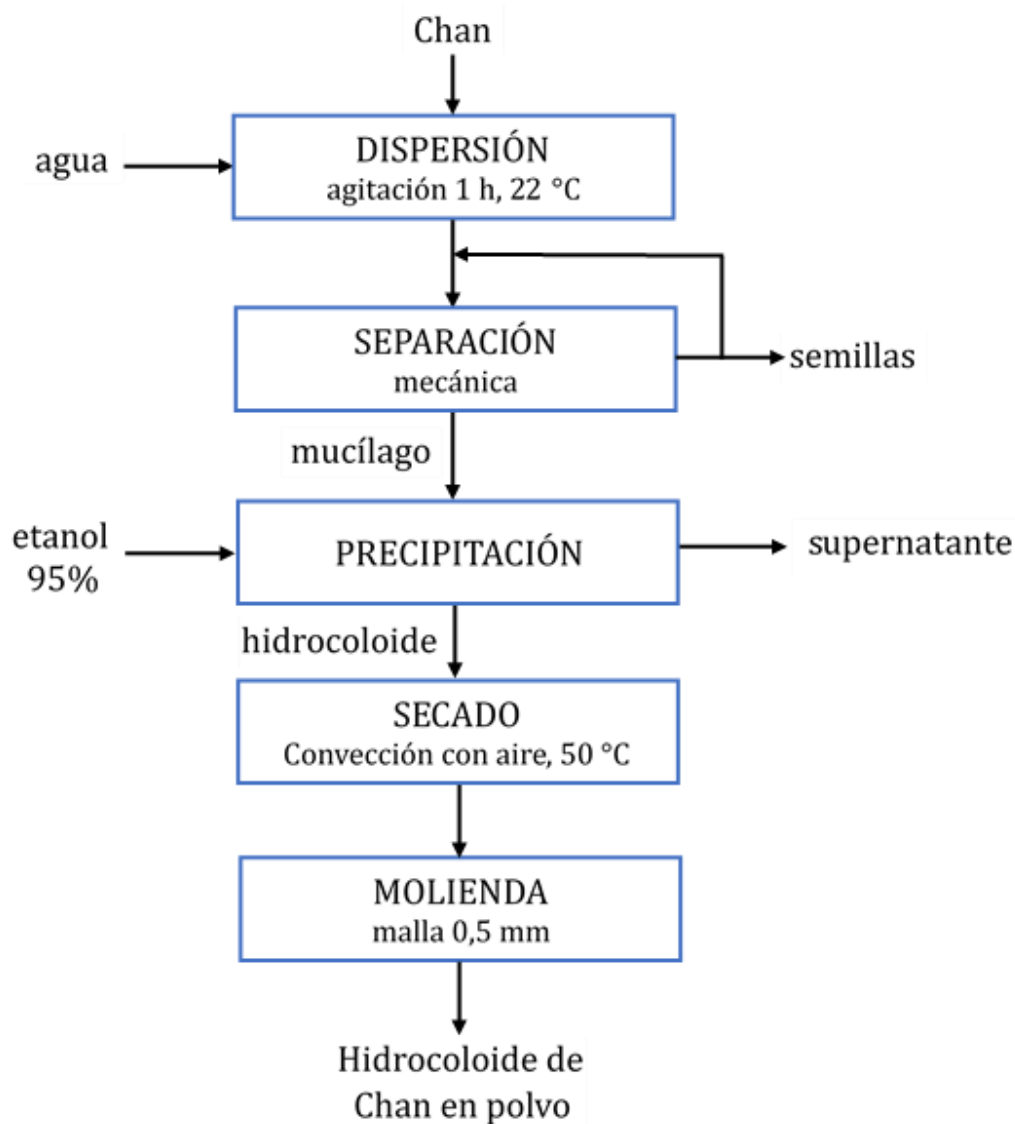


Figura 12. Proceso de obtención del hidrocoloide del chan en polvo.

5.4. Composición proximal del hidrocoloide del chan

La composición proximal del HCH obtenido se presenta en el **Cuadro 13**, donde también se muestra la composición en base seca reportada para el hidrocoloide de dos variedades de chan de Colima, México (Vázquez-Galindo *et al.*, 2010), y el de otras semillas mucilaginosas. El contenido de humedad del hidrocoloide del chan es superior al de los otros hidrocoloides, por lo que se requiere que la operación de secado se realice por mayor tiempo para reducir este contenido.

Cuadro 13. Composición proximal de hidrocoloides de semillas mucilaginosas.

Composición (g/100 g)	Humedad	Proteína	Grasa	Cenizas	Carbohidratos totales
<i>Hyptis suaveolens</i> ^{1**}	13,5	1,0	nd	1,69	97,2
<i>Hyptis suaveolens</i> ^{2**}	--	2,42 ± 0,07	1,14 ± 0,06	2,34 ± 0,48	94,13 ± 0,31
<i>Salvia hispanica</i> ^{3**}	3,9 ± 0,3	2,6 ± 0,2	0,6 ± 0,1	0,8 ± 0,1	93,8 ± 0,5
<i>Ocimum basilicum</i> ^{4**}	9,1 ± 0,17	1,32 ± 0,09	4,38 ± 0,14	6,53 ± 0,21	81,71 ± 0,73
<i>Plantago major</i> ^{5*}	3,69 ± 0,10	6,66 ± 0,16	trazas	6,80 ± 0,12	82,85 ± 1,08
<i>Linum usitatissimum</i> ^{6*}	4,1 ± 0,4	4,4 ± 0,7	0,5 ± 0,1	0,6 ± 0,1	90,4 ± 1,1
<i>Salvia macrosiphon</i> ^{7*}	6,06 ± 0,06	6,14 ± 0,08	0,17 ± 0,03	8,34 ± 0,01	79,23 ± 0,12

¹Presente estudio, ²Vázquez-Galindo *et al.*, 2010, ³Timilsena *et al.*, 2016, ⁴Hosseini-Parvar *et al.*, 2010, ⁵Behbahani *et al.*, 2017, ⁶Kaushik *et al.*, 2017, ⁷Farahnaky *et al.*, 2013.

*cantidades en base húmeda, **cantidades en base seca, nd: no detectada.

El contenido de proteína es el principal criterio de pureza de un hidrocoloide (Farahnaky *et al.*, 2019). La cantidad de proteína en el HCH es bajo respecto al encontrado en los otros productos, lo cual es un indicador de su pureza. El contenido de cenizas es bajo, menor al reportado para el hidrocoloide del chan de México, y para los reportados para la chía, llantén (*Plantago major*) y *Salvia macrosiphon*. Se debe tomar en cuenta que la separación mecánica del mucílago de la semilla puede provocar un aumento en el contenido de impurezas de los hidrocoloides que se reflejan como proteínas o cenizas.

El HCH no contiene grasa, al igual que la mayoría de los hidrocoloides comparados, lo cual se espera al ser producto de una extracción acuosa del exterior de la semilla. El contenido de carbohidratos en base seca es 96,7 %, valor bastante alto comparado con el resto de los hidrocoloides e indica una buena pureza del producto.

5.5. Perfil reológico del hidrocoloide del chan

5.5.1. Efecto de la concentración en el comportamiento reológico

El comportamiento reológico de las dispersiones del HCH en un rango de concentraciones 0,2-2,0 g HCH/100 g dispersión se muestra a en la **Figura 13**.

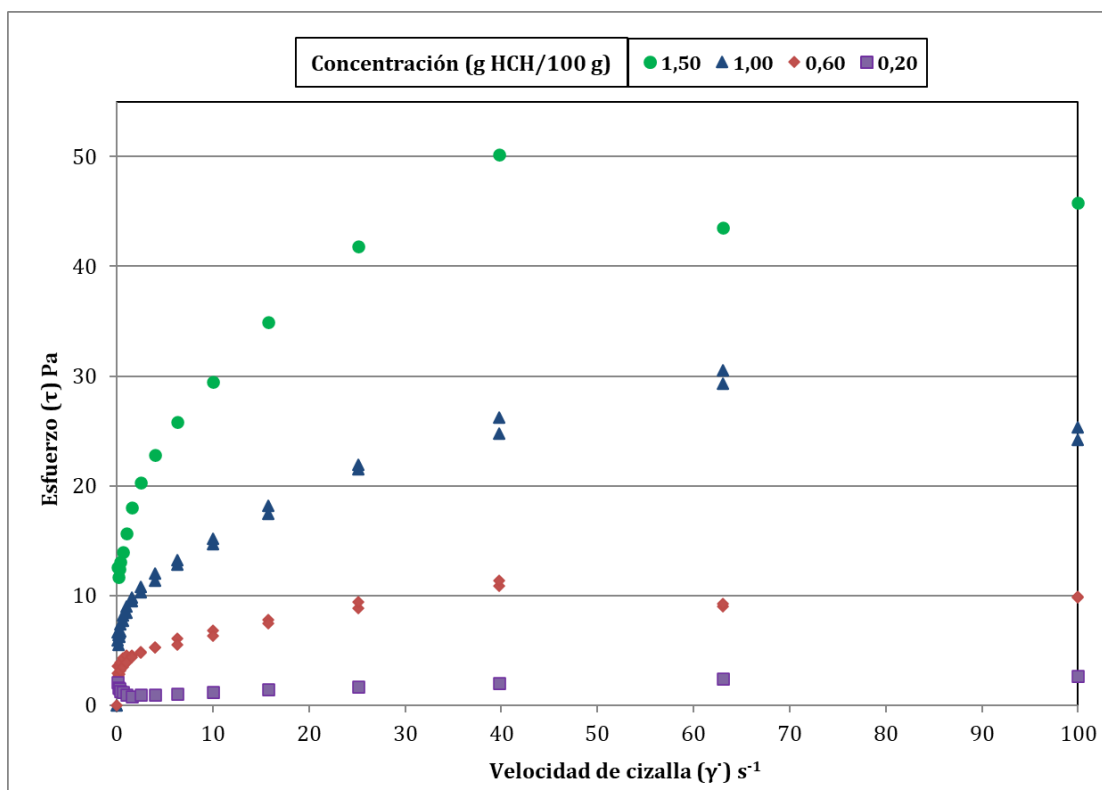


Figura 13. Reogramas de esfuerzo en función de la velocidad de cizalla para dispersiones de diferentes concentraciones del hidrocoloide de chan a 25 °C.

En la figura se muestran las curvas de esfuerzo en función de la velocidad de cizalla, donde la pendiente es la viscosidad aparente ($\eta_a = d\tau/d\dot{\gamma}$). Para valores bajos de velocidad de cizalla se observa que la pendiente es alta, y que conforme velocidad aumenta, la viscosidad aparente va disminuyendo. La disminución de η_a al aumentar $\dot{\gamma}$ evidencia el comportamiento pseudoplástico de las dispersiones del HCH. Se observa que con el aumento de la concentración del hidrocoloide se presentan mayores esfuerzos de corte para una misma velocidad de cizalla, y por tanto mayores valores de viscosidad. Finalmente, para valores altos de $\dot{\gamma}$, la pendiente se aplana y la viscosidad

tiende a ser uniforme, con lo que el comportamiento de la dispersión se asemeja al comportamiento newtoniano. Con el aumento de la velocidad de cizalla, las macromoléculas se desenredan y alinean en dirección del flujo, de forma que su resistencia al flujo disminuye; hasta que la viscosidad alcanza un mínimo donde ya no se reduce más, y toma un valor constante que corresponde a la fricción entre moléculas individuales, conocido como viscosidad a deformación infinita (η_{∞}) (Mezger, 2011).

En la **Figura 14** se presentan las curvas de la viscosidad aparente en función de la velocidad de corte en un gráfico logarítmico. En este caso, la viscosidad aparente disminuye al aumentar la velocidad de corte de forma lineal, lo que nuevamente refleja el comportamiento pseudoplástico de las dispersiones.

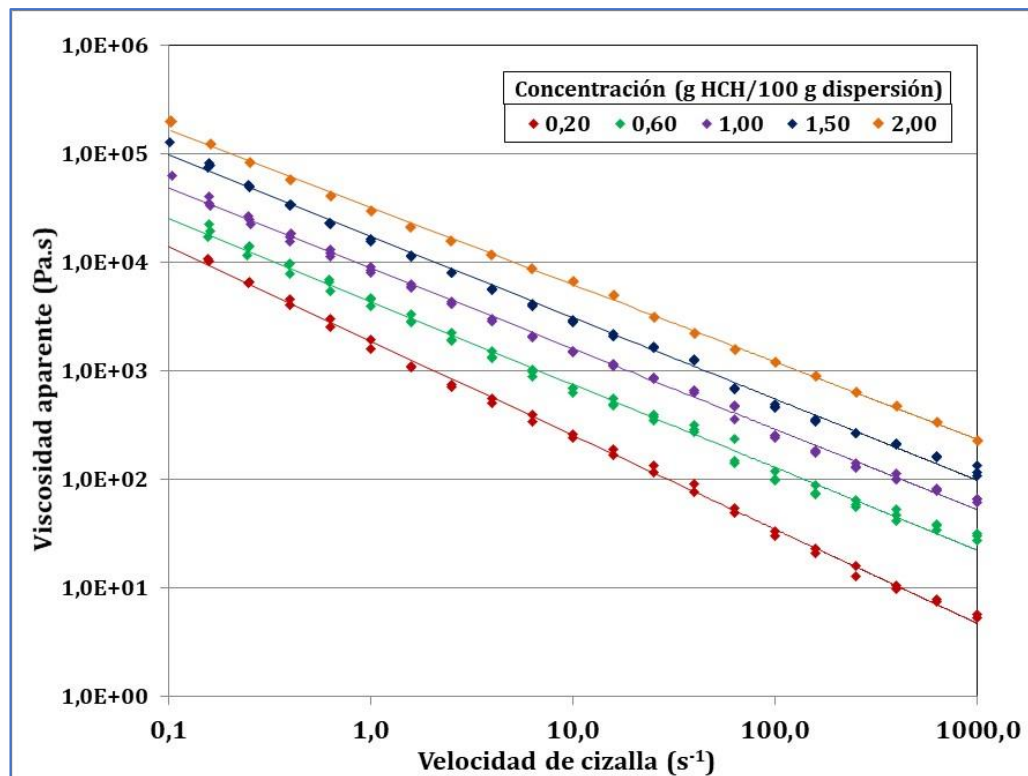


Figura 14. Curvas de flujo de dispersiones del hidrocoloide del chan a diferentes concentraciones a 25°C.

Se reitera el hecho que η_a aumenta conforme se incrementa la concentración de HCH en la dispersión en todo el rango de las $\dot{\gamma}$ evaluadas. Las líneas de viscosidad

parecen paralelas excepto la correspondiente a la menor concentración que muestra una pendiente menor, que indica una disminución de η_a más pronunciada.

En el **Cuadro 14** se presentan los parámetros reológicos (n y K) del modelo de Ostwald-de Waele para dispersiones de diferentes concentraciones de HCH, obtenidos al aplicar regresiones de los resultados experimentales a los modelos indicados.

Cuadro 14. Efecto de la concentración del HCH en los parámetros reológicos del modelo de Ostwald-de Waele en el rango $\dot{\gamma} = 0,1-1000 \text{ s}^{-1}$ a $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Concentración (g HCH/100 g)	n (-)	K (Pa s ^{n})	R^2
0,20	0,133 ± 0,010 ^a	1,690 ± 0,386 ^a	0,998
0,60	0,236 ± 0,028 ^b	4,332 ± 0,352 ^b	0,996
1,00	0,258 ± 0,011 ^{bc}	8,825 ± 0,547 ^c	0,997
1,20	0,257 ± 0,005 ^{bc}	11,659 ± 0,382 ^d	0,996
1,50	0,251 ± 0,002 ^{bc}	17,351 ± 0,161 ^e	0,997
2,00	0,291 ± 0,011 ^c	31,236 ± 1,349 ^f	0,999

¹Valores expresados como promedio ± intervalo de confianza al 95% ($n = 3$). Letras diferentes en una columna indican diferencias significativas entre los promedios.

El modelo de Ostwald-de Waele (OdW) describe adecuadamente el comportamiento reológico de las dispersiones de HCH a diferentes concentraciones, y los valores del coeficiente de determinación ($R^2 > 0,99$) indican que la bondad de ajuste de las ecuaciones del modelo con los datos experimentales es muy buena. Este modelo es simple y describe el comportamiento reológico con sólo dos parámetros (n y K) y por ello, se emplea ampliamente en la caracterización de alimentos fluidos (Rao, 2014).

En todos los casos el índice de flujo $n < 1$ indica un comportamiento pseudoplástico de las dispersiones. El valor del índice n refleja la cercanía al flujo newtoniano, donde $n = 1$ (Rao, 2014); por ello, valores de n más alejados de la unidad indican un mayor comportamiento pseudoplástico. La mayoría de dispersiones de

polisacáridos presentan este tipo de comportamiento, que es una ventaja para su mezclado y bombeo pues su viscosidad disminuye con el cizallamiento (Mathur, 2012).

En el rango de concentraciones entre 1,00 y 2,00 % los valores del índice de flujo no difieren entre sí significativamente. Para la dispersión 2,00 % de HCH el índice de flujo es mayor al mostrado por dispersiones con concentraciones bajas (0,20 y 0,60 %). Por otro lado, el índice de flujo para la concentración de 0,20 % es menor y diferente al presentado por las dispersiones de las demás concentraciones ($p < 0,05$), comportamiento que se refleja en una menor pendiente de la curva de la concentración 0,20 % en la **Figura 14**. Los valores del índice de consistencia aumentan con la concentración del hidrocoloide en la dispersión, y se presentan diferencias significativas entre todos ($p < 0,05$).

El efecto de la concentración de sólidos (C) sobre la viscosidad aparente o el índice de consistencia (K) del modelo de potencia puede ser descrito por una relación $\eta_a \propto C^b$ y $K \propto C^b$ (Rao, 2014). Los modelos descritos por las ecuaciones 12 y 13 describen adecuadamente el comportamiento de la viscosidad aparente ($\dot{\gamma} = 100 \text{ s}^{-1}$) y el índice de consistencia en función de la concentración de las dispersiones de HCH a $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, como lo indican la probabilidad del modelo y el coeficiente de determinación mostrados en el **Cuadro 15**.

$$\eta_a = m C^b \quad \text{ecuación 20}$$

$$K = m' C^{b'} \quad \text{ecuación 21}$$

Cuadro 15. Parámetros de ajuste de la viscosidad aparente y el índice de consistencia en función de la concentración, al modelo de ley de potencia, para $\dot{\gamma} = 100 \text{ s}^{-1}$, $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

Propiedad	m	b	R ²	p
η_a	0,2438	1,365	0,986	<0,0001
K	10,23	1,233	0,965	0,0005

Un aumento en la concentración del hidrocoloide provoca un incremento en la viscosidad aparente y el índice de consistencia de las dispersiones, en modelos descritos por la ley de potencia. Este incremento es ocasionado por una mayor cantidad de moléculas que ejercen interacciones intermoleculares (Koocheki *et al.*, 2013). Por otro lado, el aumento de K con la concentración puede ser provocado por un aumento en la capacidad de retención de agua (Koocheki *et al.*, 2013). El comportamiento de las dispersiones de HCH es similar al descrito para hidrocoloides de semillas de *Lepidium sativum* (Karazhiyan *et al.*, 2009) y *Ocimum basilicum* (Hosseini-Parvar *et al.*, 2010), *Salvia macroshipon* (Razavi *et al.*, 2011) y *Lepidium perfoliatum* (Koocheki *et al.*, 2013). Estos resultados indican el potencial del HCH como espesante o estabilizante en matrices alimentarias por su capacidad de aumentar la consistencia en dispersiones (Razavi *et al.*, 2011).

En el **Cuadro 16** se presentan los parámetros reológicos del modelo de Herschel-Bulkley (HB) para dispersiones de diferentes concentraciones de HCH, obtenidos al aplicar regresiones de los resultados experimentales al modelo.

Cuadro 16. Efecto de la concentración del HCH en los parámetros reológicos del modelo de Herschel-Bulkley a 25 °C en el rango $\dot{\gamma} = 0,1-1000 \text{ s}^{-1}$.

Concentración (%)	τ_0 (Pa)	n_H (-)	K_H (Pa s ⁿ)	R ²
0,20	1,020 ± 0,393 ^a	0,241 ± 0,116 ^a	0,815 ± 0,533 ^a	0,940
0,60	2,080 ± 0,806 ^a	0,347 ± 0,038 ^b	2,134 ± 0,846 ^a	0,956
1,00	2,825 ± 0,730 ^{ab}	0,323 ± 0,013 ^{ab}	5,724 ± 0,394 ^b	0,969
1,20	5,473 ± 1,033 ^{cd}	0,369 ± 0,026 ^b	5,668 ± 0,780 ^b	0,964
1,50	7,471 ± 1,193 ^d	0,352 ± 0,023 ^b	9,100 ± 1,166 ^c	0,977
2,00	5,020 ± 0,232 ^{bc}	0,283 ± 0,005 ^{ab}	31,804 ± 1,416 ^d	0,994

¹Valores expresados como promedio ± intervalo de confianza al 95% (n = 3, excepto para la concentración 0,20 % donde n = 2). Letras diferentes en una columna indican diferencias significativas entre los promedios.

Los coeficientes de determinación del ajuste al modelo de Herschel-Bulkley son menores a los encontrados con el modelo de Ostwald-de Waele. El valor de R^2 aumenta con la concentración del HCH, probablemente debido a que para bajas concentraciones, los esfuerzos medidos instrumentalmente son menores y susceptibles a una mayor variabilidad.

Existen dispersiones que no fluyen de forma inmediata al aplicar una fuerza, sino que requieren superar un esfuerzo inicial conocido como punto de fluencia (τ_0) para comenzar a fluir (Mathur, 2012). Los valores τ_0 de las dispersiones de HCH tienden a aumentar con la concentración; no obstante, el valor de τ_0 para la concentración de 2,00 % no difiere del mostrado por las concentraciones de 1,00 y 1,20 %. Los valores de punto de fluencia obtenidos muestran una alta variabilidad, que indica que posiblemente el método de regresión no lineal para obtener este parámetro no brinda valores precisos. Para utilizar el modelo HB se recomienda determinar el valor de τ_0 en un experimento independiente, y con este valor conocido calcular n_H y K_H mediante regresión lineal. La regresión no lineal arroja un estimado de los parámetros de mejor ajuste desde el punto de vista del cálculo de mínimos cuadrados, pero que no necesariamente representan los parámetros reales de la muestra evaluada (Rao, 2014).

En el **Cuadro 17** se presenta una comparación de los valores de los índices de flujo y de consistencia obtenidos de los modelos OdW y HB para varios hidrocoloides de semillas. Para el modelo OdW, el índice de flujo del HCH presenta un valor menor al mostrado por los otros hidrocoloides para concentraciones similares, lo que indica un comportamiento más pseudoplástico. La dispersión al 1 % del hidrocoloide de *Salvia macroshiphon* presenta un valor de n menor que las dispersiones de HCH al 1 %, pero su determinación se realizó a una temperatura menor (20 °C). Los valores del índice de consistencia del HCH son similares a los que presentan los hidrocoloides de *S. macroshiphon* y de *L. sativum*; por otro lado, se observa que el valor de K es mayor del de *S. hispanica* pero menor al del hidrocoloide de *O. basilicum*.

Cuadro 17. Comparación de los valores de los índices de flujo y consistencia para hidrocoloides de diferentes semillas.

Hidrocoloide	Conc (%)	T (°C)	Modelo*	n	K (Pa sⁿ)	Referencia
<i>Hyptis suaveolens</i>	1,0	25	OdW	0,258	8,83	Presente estudio
<i>Lepidium sativum</i>	2,0	25	OdW	0,316	9,9	Karazhiyan <i>et al.</i> , 2009
<i>Ocimum basilicum</i>	1,0	20	OdW	0,33	13,95	Naji-Tabasi y Razavi, 2017
<i>Salvia hispanica</i>	1,0	25	OdW	0,44	5,80	Capitani <i>et al.</i> , 2015
<i>Salvia macrosiphon</i>	1,0	20	OdW	0,212	8,44	Razavi <i>et al.</i> , 2014
<i>Hyptis suaveolens</i>	1,0	25	HB	0,323	5,724	Presente estudio
<i>Hyptis suaveolens</i>	0,75	25	HB	0,683	0,238	Pérez-Orozco <i>et al.</i> , 2019
<i>Ocimum basilicum</i>	1,0	20	HB	0,392	3,883	Hosseini-Parvar <i>et al.</i> , 2010
<i>Salvia macrosiphon</i>	1,0	20	HB	0,42	3,14	Razavi <i>et al.</i> , 2011

*ODW: Ostwald-de Waele, HB: Herschel-Bulkley

Al comparar los parámetros del modelo de Herschel-Bulkley, la dispersión de HCH presenta valores del índice de flujo menores y del índice de consistencia mayores que las dispersiones de los otros hidrocoloides. Es notable la diferencia que presentan estos índices respecto a los reportados por Pérez-Orozco y colaboradores (2019) para dispersiones de HCH. Hay que tomar en cuenta, que en dicho estudio las propiedades n y K se evaluaron a una concentración de HCH menor (0,75 %) que la utilizada en el presente trabajo; y que para obtener el hidrocoloide seco, la dispersión de chan en agua se secó y luego se separó el hidrocoloide por frotamiento de las semillas sobre un tamiz

de malla 0,250 mm (Pérez-Orozco *et al.*, 2019), pero no se realizó la precipitación del mucílago con etanol que es una operación de purificación, por lo que es posible que el HCH utilizado presentara mayor contenido de impurezas y menor contenido del hidrocoloide.

5.5.2. Efecto de la temperatura en el comportamiento reológico

El comportamiento de la viscosidad aparente a $\gamma = 50 \text{ s}^{-1}$ de dispersiones de HCH a diferentes concentraciones en función de la temperatura en un rango de 20 a 80 °C. se muestra en la Figura 15. En todos los casos, la viscosidad aparente disminuye con el aumento de temperatura. La pendiente de disminución de viscosidad es mayor conforme aumenta la concentración del HCH en la dispersión, lo que indica que el efecto de la temperatura es más pronunciado para concentraciones altas de HCH. Este

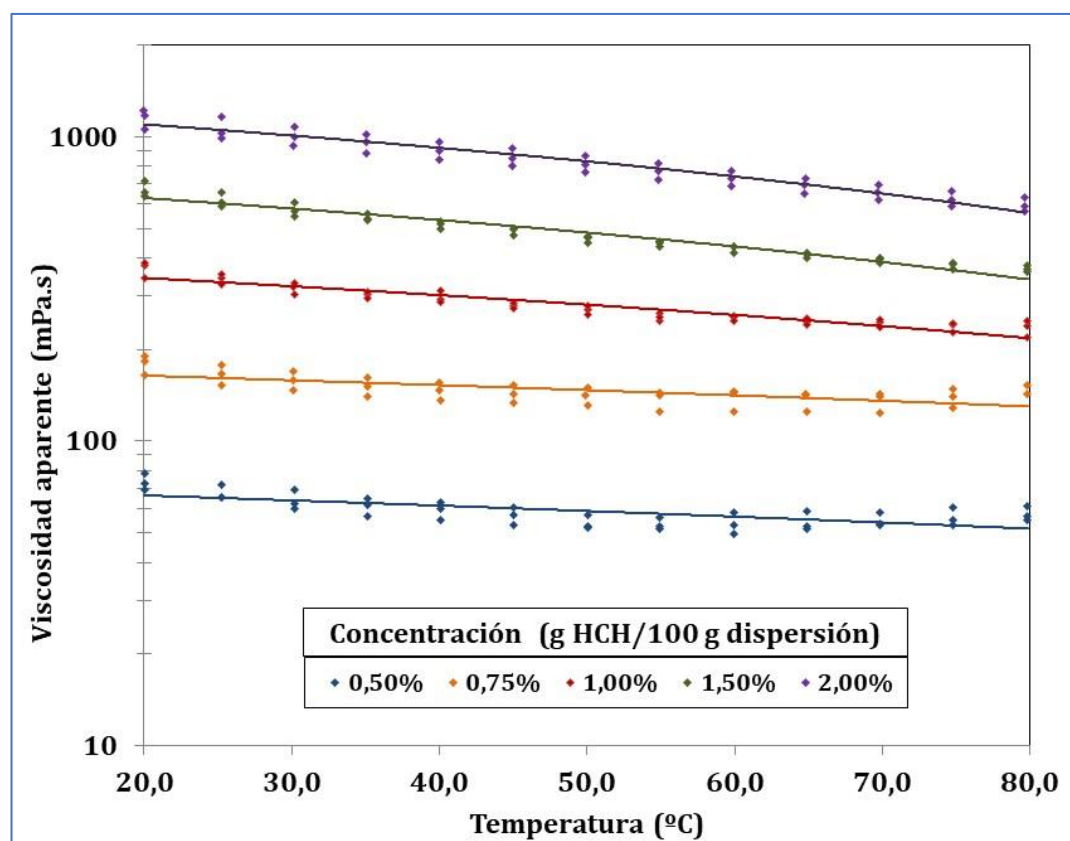


Figura 15. Variación de la viscosidad aparente de dispersiones de HCH a diferentes concentraciones en función de la temperatura, $\gamma = 50 \text{ s}^{-1}$.

comportamiento es similar al reportado en dispersiones del hidrocoloide de *S. macroshiphon* (Razavi *et al.*, 2011) y se atribuye a un aumento en la movilidad de las macromoléculas de la dispersión, que presentan una menor resistencia a fluir al (Karazhiyan *et al.*, 2009), y a una disminución de las interacciones intermoleculares que provocan una disminución en la energía requerida para fluir (Koocheki *et al.*, 2013, citando a Bohdanecky y Kovar, 1982 y Lapasin y Pricl, 1995).

La relación de la viscosidad y la temperatura se evaluó utilizando un modelo tipo Arrhenius (ecuación 5). Los resultados de regresión de los resultados experimentales al modelo se encuentran en el **Cuadro 18**. Para todas las concentraciones se obtuvieron coeficientes de determinación altos ($R^2 > 0,92$) que indican una buena correlación del modelo tipo ecuación de Arrhenius para describir el comportamiento de los resultados experimentales.

Cuadro 18. Parámetros del modelo Arrhenius de viscosidad aparente a $\gamma = 50 \text{ s}^{-1}$ en función de la temperatura, de dispersiones de HCH a diferentes concentraciones.

Concentración (g/100 g HCH), (%)	Temperatura (°C)	E_a (kJ/mol)	η_o (mPa s)	R^2
0,50	20-60	$6,46 \pm 0,46^b$	$5,04 \pm 0,97^a$	0,925
0,75	20-70	$4,69 \pm 0,21^a$	$24,67 \pm 1,40^{bc}$	0,935
1,00	20-80	$6,34 \pm 0,20^b$	$26,01 \pm 1,46^{bc}$	0,954
1,50	20-80	$8,51 \pm 0,77^c$	$20,15 \pm 4,89^b$	0,993
2,00	20-80	$9,12 \pm 0,27^c$	$27,11 \pm 2,92^c$	0,993

El rango de valores encontrado para E_a (4-9 kJ/mol) es similar al reportado para *O. basillicum* (Hosseini-Parvar *et al.*, 2010) y *A. homolocarpum* (Koocheki *et al.*, 2010). El valor E_a representa la energía que se debe superar para que el flujo inicie; por ello, se puede llamar energía de activación del flujo viscoso (Rao, 2014). Por otro lado, un

valor más alto de E_a indica un mayor efecto de la temperatura en la viscosidad (Karazhiyan *et al.*, 2009).

Para las concentraciones entre 0,75 y 2,00 la energía de activación aumenta con la concentración del hidrocoloide. Es comportamiento similar al reportado para el carragenano en el rango 1 a 3 % (Marcotte *et al.*, 2001) y al presentado por el hidrocoloide de *S. macrosiphon* donde se señala un aumento de E_a con la concentración en el rango 0,50-1,00 %, (Razavi *et al.*, 2011). Sin embargo, en investigaciones reológicas de otros hidrocoloides de semillas como *O. basillicum* (Hosseini-Parvar *et al.*, 2010), *A. homolocarpum* (Koocheki *et al.*, 2010) y *L. perfoliatum* (Koocheki *et al.*, 2013), se reporta el comportamiento contrario, dado que presentan una reducción de E_a al disminuirse la concentración.

5.5.3. Efecto del pH en el comportamiento reológico

Los reogramas de la **Figura 16** muestran el comportamiento del esfuerzo de corte y la viscosidad aparente con la velocidad de corte de dispersiones al 1% de HCH para diferentes valores de pH a 20 °C.

Los valores menores de viscosidad y de esfuerzo se producen a pH = 3 que es el más bajo, que luego aumentan al incrementarse el pH hasta 5, para finalmente mantenerse constantes para los pH 5, 7 y 9. Un comportamiento similar se presenta para dispersiones de hidrocoloides de *S. macroshiphon* (Farahnaky *et al.*, 2013), *A. homolocarpum* (Koocheki *et al.*, 2009) y *Opuntia ficus indica* (Medina-Torres *et al.*, 2000); por otro lado, para dispersiones al 0,5 % de HCH no se encontraron diferencias en su viscosidad en valores de pH entre 6,5 y 10 a 25 °C (Pérez-Orozco *et al.*, 2019). Los hidrocoloides empleados en alimentos son neutros o aniónicos con presencia de grupos carboxilo (Whistler y BeMiller, 1997). El mucílago del chan está compuesto por dos polisacáridos: uno neutro y otro aniónico en una proporción de 1 a 1 (Gowda, 1984; Praznik *et al.*, 2017). El polisacárido de la fracción aniónica está compuesto por L-fucosa, D-xilosa y ácido 4-O-metil D-glucurónico en relaciones molares 1,0:2,5:1,1

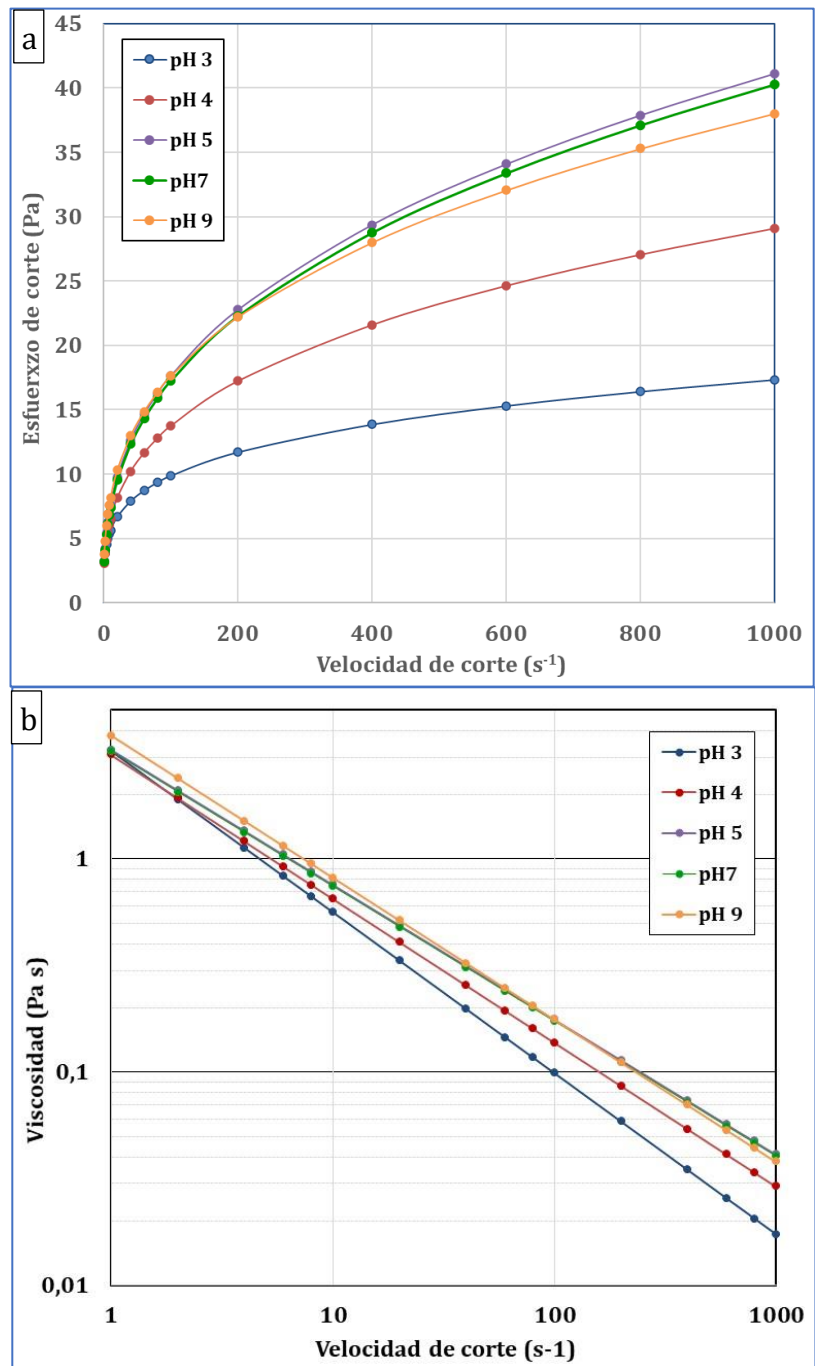


Figura 16. Comportamiento del esfuerzo de corte (a) y de la viscosidad (b) en función de la velocidad de corte de dispersiones al 1 % de HCH para diferentes pH a 20 °C.

(Gowda, 1984) y su estructura se encuentra altamente ramificada (Aspinall *et al.*, 1991); posee una masa molar promedio de 350,000 g/mol, 6-7 veces mayor que la del polisacárido neutro, y es la responsable de alta viscosidad de sus dispersiones debido a su alta masa molecular y su disposición estructural (Praznik *et al.*, 2017).

El aumento de la viscosidad en dispersiones de hidrocoloides aniónicos al incrementarse el pH se ha explicado por la ionización de sus grupos carboxilo (Koocheki *et al.*, 2009). Medina-Torres y colaboradores (2000), indican que el aumento en viscosidad en el hidrocoloide de *O. ficus indica* se relaciona con cambios en la conformación en la molécula del mucílago al incrementarse el pH. A pH bajos, los grupos carboxilo se presentan en forma no disociada, y conforme el pH aumenta, los grupos aniónicos cargados generan repulsión entre moléculas, y los polisacáridos adquieren una configuración extendida que provoca un aumento de viscosidad de las dispersiones (Whistler y BeMiller, 1997; Koocheki *et al.*, 2013). Luego de alcanzarse la ionización completa, un posterior aumento de pH ya no afecta la viscosidad de las dispersiones que, como se observa, se mantiene estable para pH mayores a 5.

En el **Cuadro 19** se muestran los índices de flujo y de consistencia obtenidos al ajustar los resultados experimentales al modelo OdW para el rango de pH de 3 a 9. No se presentan diferencias significativas para el índice de flujo de las dispersiones de HCH en el rango de pH 4 a 9, en tanto que su valor a pH = 3 es menor y difiere significativamente del resto ($p < 0,5$), que indica un mayor comportamiento pseudoplástico. Como se indicó, esta variación puede atribuirse a modificaciones en la conformación de las cadenas provocadas por la disminución del pH.

Cuadro 19. Índices de flujo y consistencia del modelo Ostwald-de Waele de dispersiones al 0,5 % de HCH para diferentes pH en el rango $\dot{\gamma} = 1-1000 \text{ s}^{-1}$ a $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

pH	n	K (Pa s)	R ²
3,00	0,244 ± 0,010 ^a	3,214 ± 0,185 ^{bcd}	0,986 ± 0,001
4,00	0,325 ± 0,011 ^b	3,076 ± 0,177 ^{ab}	0,990 ± 0,002
5,00	0,367 ± 0,023 ^b	3,249 ± 0,166 ^{bcd}	0,994 ± 0,001
6,00	0,350 ± 0,008 ^b	2,614 ± 0,193 ^a	0,989 ± 0,002
7,00	0,367 ± 0,010 ^b	3,182 ± 0,207 ^{abc}	0,993 ± 0,001
8,00	0,371 ± 0,033 ^b	3,645 ± 0,205 ^{cd}	0,991 ± 0,001
9,00	0,335 ± 0,019 ^b	3,785 ± 0,461 ^d	0,989 ± 0,001

Letras diferentes en una columna indican diferencias significativas entre los promedios

En la **Figura 17** se muestra la comparación del índice de consistencia y su variabilidad para los pH evaluados. En el rango de pH 3 a 5 los valores K son similares ($p < 0,05$). El menor valor de K que se presenta pH = 6, no difiere del índice de consistencia a pH 4 y 7; finalmente, los índices K para los pH 8 y 9 no difieren significativamente entre sí, y su valor es mayor al índice a pH = 6 ($p < 0,05$).

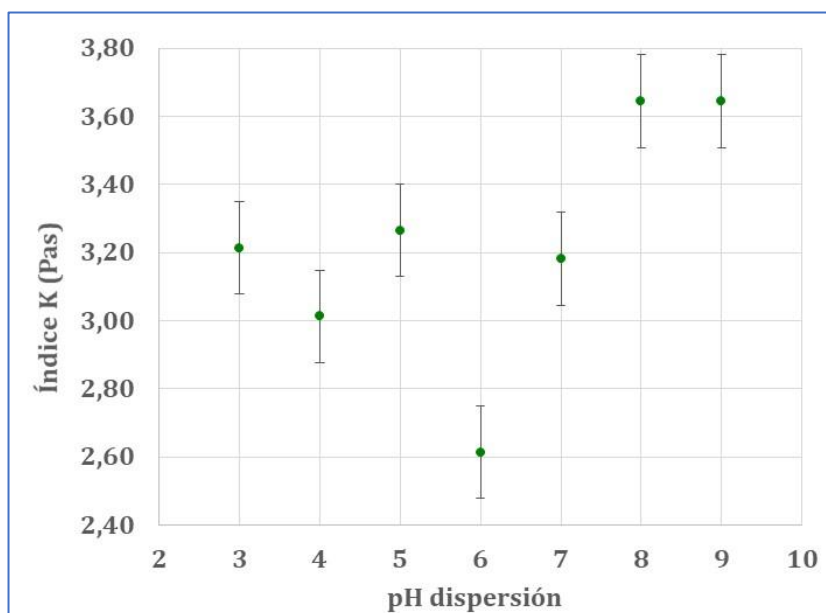


Figura 17. Índice de consistencia de dispersiones de HCH al 1 % a diferentes valores de pH a 20 °C (n = 4).

Para dispersiones de *S. macroshiphon* n se mantiene prácticamente constante en el ámbito de pH 3 a 9, en tanto que, el valor de K aumenta al subir el pH (Farahnaky *et al.*, 2013). Koocheki y colaboradores (2009) reportan para dispersiones de *A. homolocarpum*, el menor valor de K para un pH = 3, que luego aumenta a pH = 5 y permanece constante a pH 7 y 9. Los autores señalan que el coeficiente de consistencia alcanza un máximo cuando sus grupos carboxilo de las cadenas están ionizados provocando una conformación extendida.

5.5.4. Efecto de la concentración de solutos en el comportamiento reológico

5.5.4.1. Efecto de la concentración de sacarosa

En el **Cuadro 20** se muestran los valores de los índices de flujo y consistencia del modelo OdW dispersiones de HCH con diferentes concentraciones de sacarosa. Se observa que el índice de flujo no es afectado por la adición de sacarosa en ninguno de los niveles estudiados. El índice de consistencia es similar para las dispersiones 0, 50 y 100 g sacarosa/kg dispersión, en tanto que para la mayor concentración (150 g/kg) se observa que el valor de K es mayor respecto al de las demás dispersiones ($p < 0,05$).

Cuadro 20. Índices de flujo y consistencia del modelo Ostwald-de Waele de dispersiones al 0,5 % de HCH para diferentes concentraciones de sacarosa a $T = 20^{\circ}\text{C}$ en el rango $\dot{\gamma} = 1-1000 \text{ s}^{-1}$.

Concentración de sacarosa (g/kg disp.)	n	K (Pa s)	R ²
0,0	0,378 ± 0,011	3,081 ± 0,279 ^a	0,996 ± 0,001
50,0	0,381 ± 0,007	2,810 ± 0,169 ^a	0,993 ± 0,001
100,0	0,382 ± 0,017	2,986 ± 0,298 ^a	0,994 ± 0,001
150,0	0,381 ± 0,006	3,811 ± 0,137 ^b	0,994 ± 0,002

Letras diferentes en una columna indican diferencias significativas entre los promedios

La viscosidad aparente de las dispersiones con sacarosa muestra el mismo comportamiento que el índice de consistencia: su valor es similar para las dispersiones de 0, 50 y 100 g sacarosa/kg, y muestra un aumento para la dispersión de 150 g sacarosa/kg. Cuando se presenta suficiente cantidad de sacarosa en la dispersión provoca un aumento en su consistencia y en su viscosidad aparente.

Similar comportamiento se ha reportado para dispersiones de *A. homolocarpum* (Koocheki *et al.*, 2009), *L. sativum* (Behrouzian *et al.*, 2013), *Lallemantia royleana* (Salehi *et al.*, 2014) y *S. macroshiphon* (Yousefi *et al.*, 2016). La viscosidad de las dispersiones de hidrocoloides es afectada por la presencia de compuestos que compiten por el agua (Whistler y BeMiller, 1997); por ello, se ha sugerido que este incremento en la viscosidad aparente puede deberse a la competencia entre las moléculas de sacarosa y del hidrocoloide por el agua disponible (Salehi *et al.*, 2014).

5.5.4.2. Efecto de la concentración de las sales NaCl y CaCl₂

Los parámetros reológicos n y K del modelo Ostwald-de Waele para dispersiones de HCH en presencia de las sales NaCl y CaCl₂ en diferentes concentraciones se muestra en el **Cuadro 21**. El índice de flujo de la dispersión 20 g NaCl/kg es menor al que presentan las dispersiones de 5 y 10 g NaCl/kg, en tanto que su valor no varía entre las dispersiones de 5, 10 y 15 g NaCl/kg ($p < 0,05$). Por otro lado, no se presenta diferencia en el índice de consistencia para las diferentes concentraciones de NaCl evaluadas ($p < 0,05$). En las dispersiones de HCH con adición de CaCl₂ no se encuentran diferencias significativas en los valores de n y K para las concentraciones evaluadas ($p < 0,05$).

Al comparar los índices n y K de dispersiones con NaCl y CaCl₂ respecto a los índices de una dispersión pura de HCH a $pH = 7$, se encuentra que la presencia de ambas sales provoca una disminución en los valores del índice de flujo; por otro lado, el índice de consistencia se reduce con la adición de NaCl, pero no es afectado por la presencia de CaCl₂.

Cuadro 21. Índices de flujo y consistencia del modelo Ostwald-de Waele de dispersiones al 0,5 % de HCH para diferentes concentraciones de NaCl y CaCl₂ a T = 20 °C. en el rango $\dot{\gamma} = 1-1000 \text{ s}^{-1}$.

Concentración (g/kg disp.)	n		K (Pa s)	
	NaCl	CaCl ₂	NaCl	CaCl ₂
0,0*	0,367 ± 0,010 ^a	0,367 ± 0,010 ^a	3,182 ± 0,207 ^a	3,182 ± 0,207 ^a
5,0	0,256 ± 0,086 ^{bA}	0,171 ± 0,020 ^{bB}	2,165 ± 0,149 ^{cA}	3,534 ± 0,239 ^{aB}
10,0	0,251 ± 0,018 ^{bA}	0,166 ± 0,019 ^{bB}	2,711 ± 0,301 ^{bA}	3,396 ± 0,312 ^{aB}
15,0	0,242 ± 0,007 ^{bA}	0,187 ± 0,012 ^{bB}	2,279 ± 0,124 ^{bcA}	3,454 ± 0,406 ^{aB}
20,0	0,220 ± 0,005 ^c	nd	2,679 ± 0,233 ^b	nd

*Dispersión pura a pH = 7. Letras minúsculas diferentes en una columna o letras mayúsculas diferentes en una fila indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los promedios.

El efecto provocado por la presencia de CaCl₂ en los índices de flujo y consistencia de dispersiones de HCH es mayor al producido por el NaCl para todos los niveles de concentración evaluados ($p < 0,05$); donde para las dispersiones con CaCl₂, el índice de flujo es menor y el valor del índice de consistencia mayor. Debido a lo anterior, se produce una mayor la disminución de viscosidad aparente por la presencia del catión divalente Ca⁺⁺ que por la presencia de iones Na⁺. Este efecto se ha reportado para diferentes dispersiones de hidrocoloides como *O. ficus indica* (Medina-Torres *et al.*, 2000), *A. homolocarpum* (Koocheki *et al.*, 2009), *L. perfoliatum* (Koocheki *et al.*, 2013), *L. royleana* (Salehi *et al.*, 2014) y *Caesalpinia spinosa* (Wu *et al.*, 2015).

Se tiene por tanto que la presencia de sales como NaCl o CaCl₂ en una dispersión de HCH provoca una variación en su reología reflejada por una disminución en su viscosidad. Este comportamiento es explicado por Whistler y BeMiller (1997) que señalan que la viscosidad de dispersiones de hidrocoloides es afectada por la presencia de compuestos que compiten por el agua.

La presencia de sales disminuye la hidratación y provoca que el hidrocoloide no desarrolle su viscosidad plena, especialmente si su naturaleza es catiónica (Whistler y BeMiller, 1997). Por ello, en la formulación de productos se recomienda realizar la dispersión del hidrocoloide en agua pura, y luego agregar las sales o ácidos para que su presencia no compita por el agua presente y dificulte la dispersión completa del hidrocoloide. También, se debe tomar en cuenta que la presencia de estos compuestos va a provocar una variación en su viscosidad o consistencia lo cual puede afectar negativamente su funcionalidad o calidad como en el caso de aderezos o salsas.

En la **Figura 18** se muestra la comparación de los reogramas $\eta_a = f(\dot{\gamma})$ obtenidos de las regresiones de los resultados experimentales al modelo OdW para las siguientes dispersiones de HCH puro, pH = 7, con dispersiones que contienen 100 g sacarosa/kg, 10 g NaCl/kg y 10 g CaCl₂/kg.

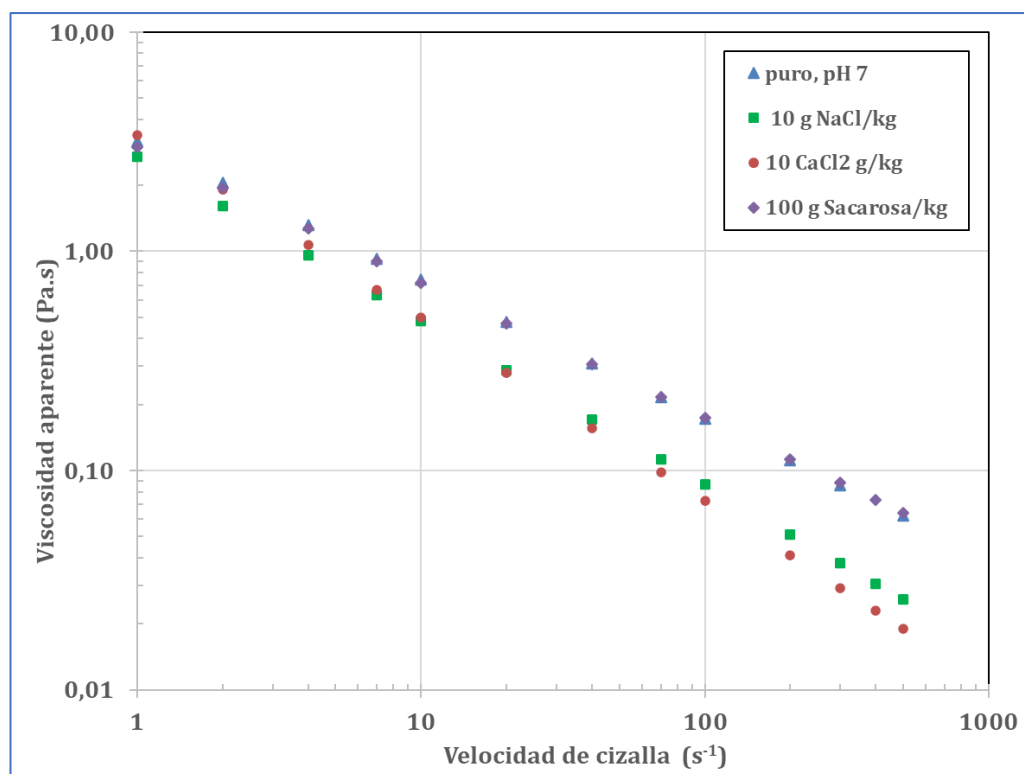


Figura 18. Viscosidad de dispersiones de HCH al 0,5 % en presencia de diferentes solutos en función de la velocidad de corte a 20 °C.

Como se ha discutido, la presencia de 100 g sacarosa/kg dispersión no produce variación en el comportamiento de la viscosidad. La adición de NaCl y CaCl₂ en una concentración 10 g/kg provoca una disminución en la viscosidad. El ion Ca⁺⁺ provoca una curva con un índice de flujo (pendiente) menor que el ión Na⁺, que indica un comportamiento más pseudoplástico. Por último, se observa que para bajas velocidades de corte la presencia de solutos prácticamente no afecta la viscosidad; conforme aumenta el valor de $\dot{\gamma}$ la disminución en la viscosidad provocada por la presencia de las sales se hace mayor.

Los polisacáridos catiónicos se pueden considerar como polielectrolitos que presentan una estructura extendida en condiciones de baja fuerza iónica, resultado de la repulsión entre grupos cargados. Un aumento en la carga iónica reduce las fuerzas de repulsión y las cadenas se agrupan como espirales compactas (Ribeiro Veiga de Moura y Barros, 2019). La presencia de iones de NaCl o CaCl₂ genera una disminución en las repulsiones intermoleculares y la consecuente contracción de las moléculas del polisacárido; este cambio en la conformación produce una disminución en la viscosidad (Koocheki *et al.*, 2013).

En dispersiones del mucílago de *O. ficus indica* en agua desionizada, los grupos catiónicos del hidrocoloide generan repulsión intermolecular, dando lugar a moléculas expandidas con mayor capacidad de interactuar con el agua y producir una viscosidad alta., sin embargo, en presencia de cationes como Na⁺ o Ca⁺⁺ se disminuye la repulsión y el alejamiento entre las cadenas de los hidrocoloides lo que provoca una reducción en la viscosidad (Medina-Torres *et al.*, 2000).

En las dispersiones de goma xantán, la forma como se agregan o desagregan las cadenas de sus moléculas es dependiente de la salinidad del medio, lo cual afecta la viscosidad impartida. En el caso de dispersiones de goma xantán, de forma similar al de dispersiones del HCH, el efecto de los iones divalentes en la viscosidad del medio es más pronunciado (Ribeiro Veiga de Moura y Barros, 2019).

5.5.5. Comportamiento viscoelástico del hidrocoloide del chan

5.5.5.1. Barrido de amplitud

En la **Figura 19** se presentan las curvas de barrido de amplitud a $\omega = 10$ rad/s de una dispersión al 2 % de HCH a 20 °C. Ambos gráficos corresponden a una misma medición donde los valores de los módulos G' y G'' se expresan en función de la deformación (γ) o del esfuerzo (σ) en un ensayo reológico dinámico oscilatorio.

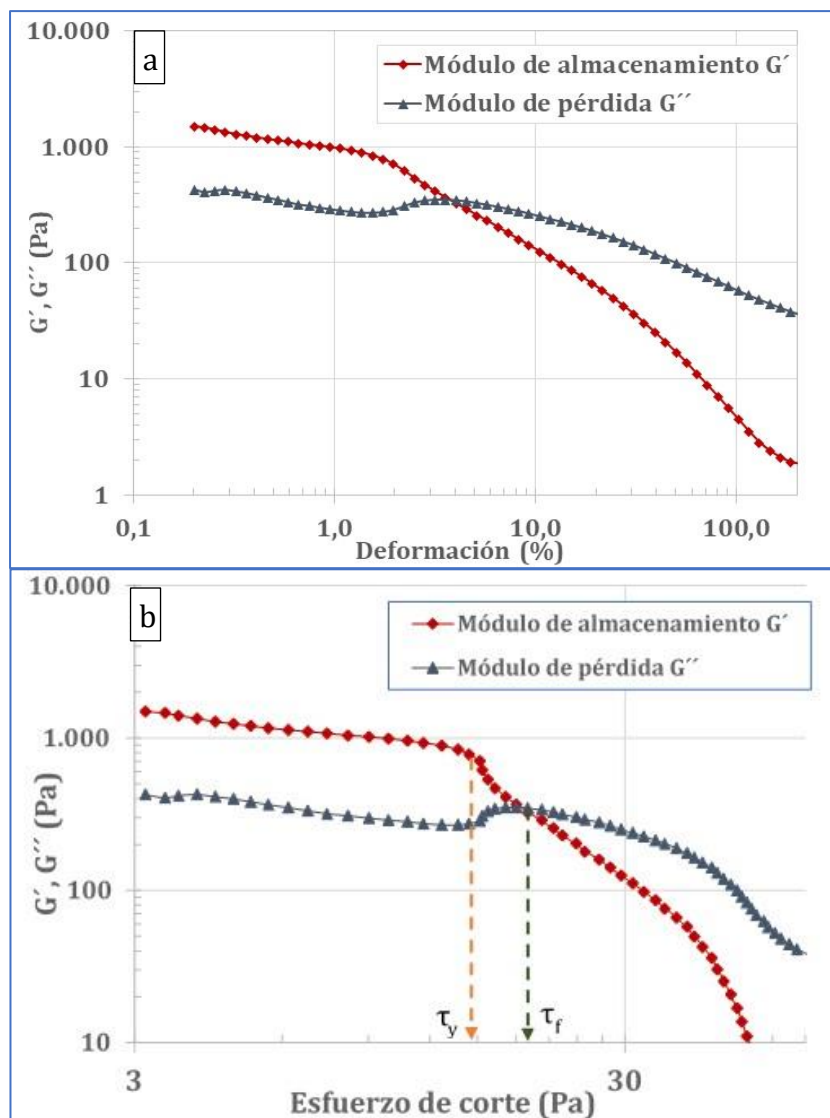


Figura 19. Comportamiento de los módulos G' y G'' de un barrido de deformación (a) y de esfuerzo corte (b) para $\omega = 10$ rad/s de una dispersión al 2 % de HCH a 20 °C.

Para valores de deformación bajos ($< 1 \%$), se observa que el módulo de almacenamiento (elástico) es mayor, en un orden de 3 veces, al módulo de pérdida (viscoso), y que ambos módulos presentan una baja variación con la deformación. Esta zona donde las curvas $G'(\gamma)$ y $G''(\gamma)$ presentan un comportamiento constante es llamada rango viscoelástico lineal (RVL) (Mezger, 2011). Para deformaciones mayores al 1% el módulo elástico comienza a disminuir rápidamente, en tanto que el módulo viscoso disminuye con una pendiente menor. Para una deformación alrededor del 5% G' y G'' se igualan, y después de ello, el módulo de pérdida es mayor que el almacenamiento, y su diferencia se incrementa conforme aumenta el valor de la deformación aplicada.

En la **Figura 19b** se observa el punto de fluencia (τ_y), en inglés *yield stress/point*, que es el esfuerzo a partir del cual G' disminuye abruptamente, y se asocia con la deformabilidad del gel. El punto de fluencia es un criterio que indica la capacidad de un hidrocoloide para estabilizar un sistema; y su valor se incrementa con el aumento de la concentración del hidrocoloide (Razavi y Irani, 2019). Por otro lado, el punto donde $G' = G''$ se conoce como punto o esfuerzo de flujo (τ_f), en inglés *flow stress/point*. En este punto se ha producido una ruptura de la estructura del gel, para esfuerzos mayores el módulo de pérdida es mayor que el módulo de almacenamiento, y por ello, se inicia el flujo (Razavi y Irani, 2019). Para esfuerzos mayores a τ_f el comportamiento del material cambia de viscoelástico a elastoviscoso y presenta una deformación irreversible (Alghooneh *et al.*, 2019)

El comportamiento viscoelástico de la dispersión al 2% de HCH es similar al reportado para un grupo de 7 hidrocoloides comerciales (entre ellos gomas xantan, guar, alginato y pectina de alto metoxilo) y 4 emergentes obtenidos de semillas (*O. basilicum*, *S. macroshiphon*, *L. sativum* y *L. royleana*) (Alghooneh *et al.*, 2019).

5.5.5.2. Barrido de frecuencia

Para las corridas de barrido de frecuencia de dispersiones de HCH al 2 % en el rango viscoelástico lineal, se seleccionó un valor de deformación $\gamma = 1 \%$, que se mantuvo constante en las pruebas. El espectro viscoelástico de la dispersión de HCH al 2 % se observa en la **Figura 20**, donde se puede observar la variación de los módulos de almacenamiento y pérdida y de la viscosidad dinámica compleja en función de la frecuencia angular en el rango 0,1-100 rad/s.

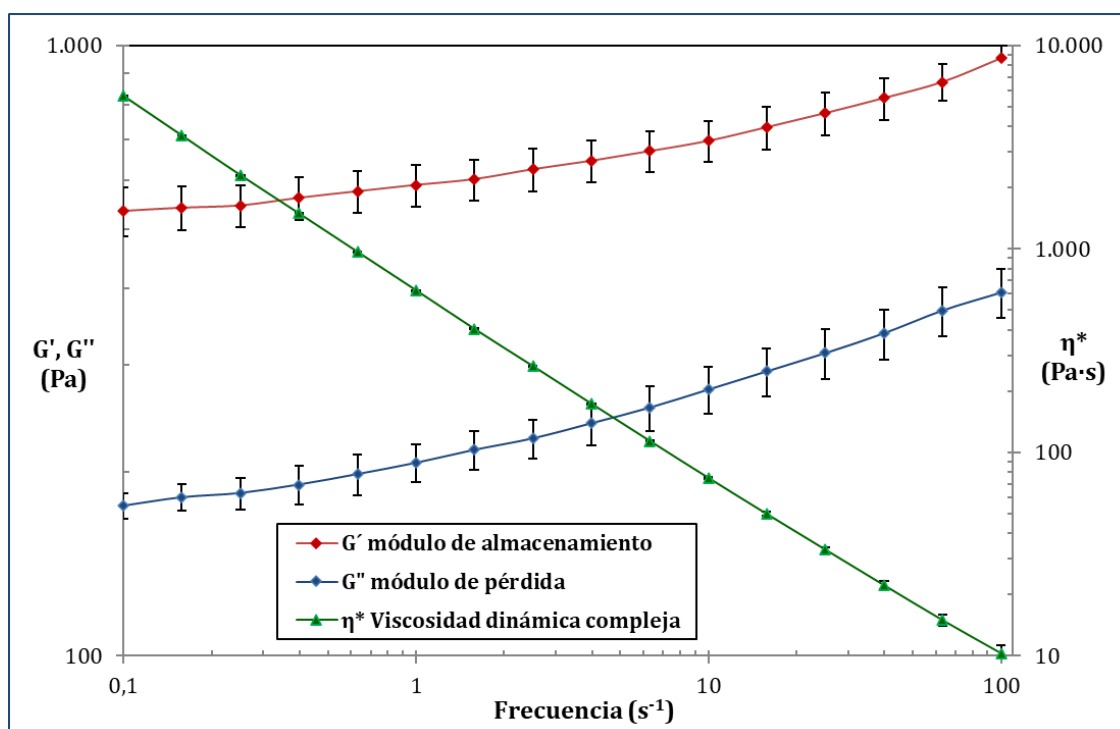


Figura 20. Comportamiento de los módulos G' y G'' y viscosidad compleja (η^*) para un barrido de frecuencia a $\gamma = 1 \%$ de una dispersión al 2 % de HCH a $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Se observa que en todo el rango de frecuencia analizado $G' > G''$, donde el factor de pérdida $\tan \delta$ está en el ámbito 0,3-0,4. Ambos módulos aumentan con el incremento de la frecuencia, donde la pendiente de G' es mayor que la de G'' . El comportamiento elástico de $G' > G''$ se ha reportado para dispersiones de hidrocoloides de semillas de psillium (Farahnaky *et al.*, 2010), chía (Capitani, 2013), salvia (Razavi *et al.*, 2014), albahaca (Razavi y Naji-Tabasi, 2017) y chan (Pérez-Orozco *et al.*, 2019).

La información de un barrido de frecuencia puede servir para establecer la naturaleza de una dispersión como por ejemplo: solución diluida, gel débil o gel fuerte (Wang y Cui, 2005; Razavi e Irani, 2019). Desde el punto de vista reológico, un gel es un sistema viscoelástico donde su módulo de almacenamiento es mayor que el módulo de pérdida. Un gel débil es aquel donde $G' > G''$ y $\tan \delta < 1$, en tanto que para un gel fuerte $G' \gg G''$ y $\tan \delta < 0,1$ (Saha y Bhattacharya, 2010). También, en un gel débil los módulos G' y G'' varían con la frecuencia, en tanto que en un gel fuerte G' es prácticamente independiente de esta variable (Rao, 2014, Razavi e Irani, 2019). El parámetro $\tan \delta$ está relacionado con la razón entre la energía perdida y la almacenada por ciclo. Cuando $\tan \delta < 1$ se presenta predominio de un comportamiento elástico; además, el parámetro $\tan \delta > 0,1$ indica que el sistema no es un gel verdadero, y que su estructura se encuentra entre un biopolímero muy concentrado y un gel real (Razmkhah *et al.*, 2017). Por otro lado, se señala que sistemas donde $\tan \delta = 0,2-0,3$ corresponden a polímeros amorfos (Razavi e Irani, 2019).

Por tanto, el espectro mecánico de la dispersión de HCH corresponde al de un gel débil. Se ha sugerido que el comportamiento de este tipo de gel es debido a interacciones entre segmentos de las cadenas que forman una red tridimensional débil. La naturaleza sólida de un gel débil es poco evidente, dado que es un material que fluye si se aplica suficiente esfuerzo; puede existir una frágil estructura similar a la de un gel, pero que se rompe con facilidad (Doublier y Cuvelier, 2006). El comportamiento de gel débil se reporta para mucílago de semillas de *L. sativum* (Razmkhah *et al.*, 2017), *O. basilicum* (Razavi y Naji-Tabasi, 2017), *L. perfoliatum*, *S. macrosiphon* y de la goma xantán (Razavi y Irani, 2019).

En el **Cuadro 22** se muestran los parámetros de regresión obtenidos al utilizar un modelo de ley de potencia ($y = k x^n$) para analizar los resultados experimentales de G' , G'' y η^* en función de la frecuencia (ω).

Cuadro 22. Parámetros de regresión de un modelo de potencia aplicados a las variables dinámicas de comportamiento viscoelástico.

Modelo	n^i	κ^i (Pa s)	R^2
$G' = \kappa' \omega^{n'}$	0,0798	603,5	0,951
$G'' = \kappa'' \omega^{n''}$	0,118	214,1	0,974
$\eta^* = \kappa^* \omega^{n^*}$	-0,915	640,2	0,996

Las pendientes de los módulos viscoso y elástico son bajas ($n^i < 0,12$). La pendiente del módulo de almacenamiento (n') es menor a la del módulo de pérdida (n''), lo cual indica una menor variación respecto a la frecuencia. Los coeficientes de determinación de las regresiones son superiores a 0,95, que evidencia que los resultados experimentales presentan un buen ajuste al modelo de potencia. Se obtuvo un valor pequeño y cercano a cero de $n' \cong 0,08$; este parámetro se puede utilizar como un indicador de la fuerza y naturaleza del gel, donde $n' > 0$ refleja un gel físico y valores bajos cercanos a cero señalan que G' no varía con la frecuencia (Razmkhah *et al.*, 2017).

El comportamiento del espectro mecánico del HCH es similar al reportado para dispersiones de 7 hidrocoloides comerciales y 4 hidrocoloides emergentes obtenidos de semillas (Alghooneh *et al.*, 2019). Al igual que en el presente trabajo, en el estudio citado para los hidrocoloides que forman geles débiles se reporta una magnitud de G' menos de 10 veces G'' y valores bajos de n' y n'' , donde $n' (0,11-0,29) < n'' (0,07-0,39)$.

La viscosidad dinámica compleja (η^*) presenta una disminución lineal en todo el ámbito de frecuencias. Los datos experimentales ajustan a una ecuación tipo ley de potencia $\eta^* = 640,2 \omega^{-0,915}$, cuya regresión posee un coeficiente de determinación muy cercano a uno, que indica el buen ajuste de los datos experimentales al modelo de potencia. La disminución lineal de $\log \eta^*$ al aumentar $\log \omega$ se reporta para algunos tipos hidrocoloides como goma xantán e hidrocoloides de semillas de albahaca y salvia, e indica un comportamiento de flujo pseudoplástico (Razavi y Irani, 2019). En un

sistema elástico perfecto la pendiente es -1, y entre mayor es el valor de esta pendiente más elástico es el gel (Razmkhah *et al.*, 2017)

En un estudio de las propiedades viscoelásticas de dispersiones 0,25-0,75 % de HCH se reporta que presentan una estructura de gel elástico débil; con un mayor carácter elástico que viscoso ($G' > G''$); además, para concentraciones 0,50 y 0,75 % de HCH el parámetro $\tan \delta = 0,2-0,3$, que indica un comportamiento intermedio entre un gel débil y uno elástico (Pérez-Orozco *et al.*, 2019).

5.5.6. Comparación del comportamiento reológico del hidrocoloide del chan, respecto a dispersiones de gomas xantán y guar y de carboximetilcelulosa

5.5.6.1. Reogramas de viscosidad/velocidad de corte

En la **Figura 21** se comparan las curvas de flujo de dispersiones al 1 % de HCH y tres productos comerciales: gomas xantán (GX) y guar (GG) y carboximetilcelulosa (CMC). En la base de la figura están las actividades (*) que se realizan en los diferentes rangos de velocidad de corte de acuerdo con lo indicado por Phillips y Williams (2009).

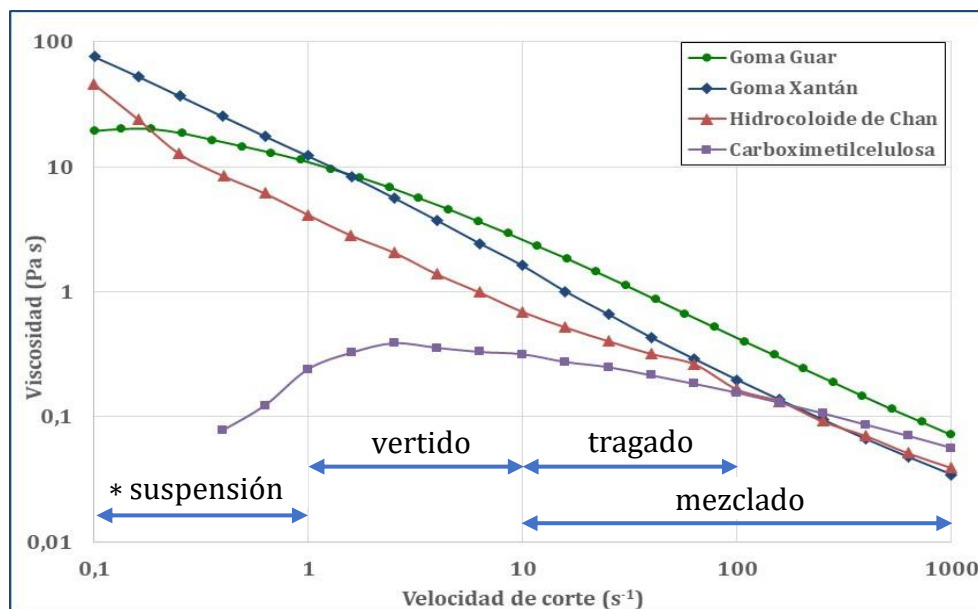


Figura 21. Curvas de flujo para dispersiones al 1 % del hidrocoloide de chan, gomas xantán y guar y de carboximetilcelulosa a 20 °C.

* Zonas de actividades adaptado de Phillips y Williams (2009)

La viscosidad aparente de HCH es menor a la de GG prácticamente en todo el rango, en tanto que es mayor que la viscosidad de la CMC para valores de $\dot{\gamma} < 100 \text{ s}^{-1}$, pero menor cuando $\dot{\gamma} > 100$.

Para velocidades de corte bajas ($0,1-1,0 \text{ s}^{-1}$) la viscosidad de GX es mayor a la de los otros hidrocoloides y su curva de flujo es lineal en todo el rango mostrado. La curva de viscosidad del GG tiene un comportamiento lineal para $\dot{\gamma} = 1-1000 \text{ s}^{-1}$, pero para el rango $\dot{\gamma} = 0,1-1,0 \text{ s}^{-1}$ este comportamiento se desvía y la curva disminuye de forma no lineal. La viscosidad aparente del CMC es menor al de los otros hidrocoloides para $\dot{\gamma} < 100 \text{ s}^{-1}$. El comportamiento mostrado es similar al reportado para dispersiones de hidrocoloides comerciales al 0,5 % (Phillips y Williams, 2009).

En productos donde existe suspensión de sus componentes (aderezos, salsas, pulpas, se presentan velocidades de corte bajas ($0,1-1 \text{ s}^{-1}$) (Phillips y Williams, 2009). El hecho que una dispersión de HCH posea una alta viscosidad a velocidades de corte bajas es un aspecto funcional importante que indica su posible aplicación como agente espesante en productos que deben mantener una suspensión homogénea sin separación de sus componentes.

Los valores de los parámetros de regresión al modelo Ostwald-de Waele para las curvas de viscosidad de los hidrocoloides comparados se presentan en el **Cuadro 23**.

Cuadro 23. Comparación de los índices de flujo y consistencia del modelo Ostwald-de Waele de dispersiones al 1 % de HCH y de hidrocoloides comerciales a $T = 20^\circ\text{C}$.

Hidrocoloide	n	K (Pa s)	Rango $\dot{\gamma}$ (s^{-1})	R ²
Chan ¹	0,257 ± 0,022 ^b	5,30 ± 0,58 ^c	0,1-1000	0,990
Xantan ¹	0,136 ± 0,014 ^a	11,36 ± 0,09 ^a	0,1-1000	0,999
Guar ²	0,313 ± 0,000 ^c	9,90 ± 0,56 ^b	0,1-1000	0,989
Carboximetilcelulosa ¹	0,674 ± 0,013 ^d	0,63 ± 0,05 ^d	4-1000	0,961

¹n = 3, ²n = 2,

El menor índice de flujo lo presenta la GX, que indica su mayor naturaleza pseudoplástica, en tanto que el índice del HCH es un poco menor al de la GG. Por otro lado, la GX y GG presentan un índice de consistencia mayor al del HCH. La CMC es la dispersión menos viscosa, su índice de flujo es el mayor y su índice de consistencia es el menor en comparación al presentado por los otros productos.

5.5.6.2. Comparación de las propiedades de textura

El ensayo de extrusión reversa permite la evaluación del comportamiento reológico empírico de muestras similares a un líquido (Angioloni y Collar, 2009). Las curvas de fuerza en función del tiempo del ensayo de extrusión reversa para dispersiones al 1% de HCH, GX, GG y CMC se muestran en la **Figura 22**. Dentro de lo conocido, este es el primer reporte de las propiedades de textura de una dispersión de HCH y su comparación con las propiedades de textura de hidrocoloides comerciales.

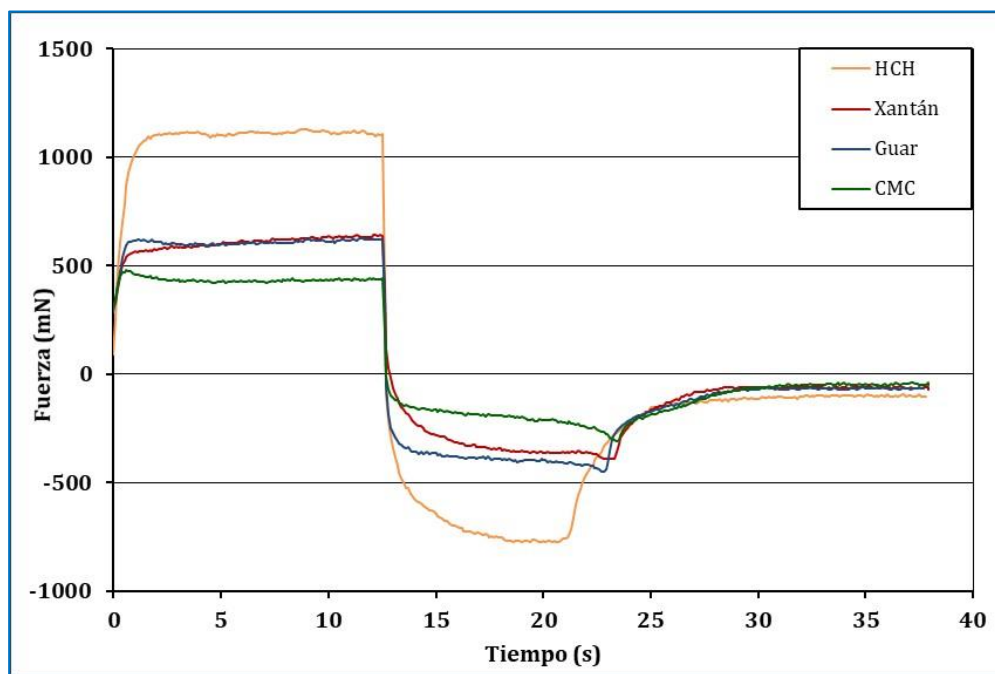


Figura 22. Comportamiento de textura en ensayo “back extrusion” de dispersiones al 1 % de los hidrocoloides de chan, gomas xantán, guar y carboximetilcelulosa.

Las mediciones realizadas en un texturómetro brindan valores de propiedades empíricas, en tanto que las realizadas en un reómetro brindan propiedades reológicas fundamentales (Cevoli *et al.*, 2013). Por otro lado, en ensayos de penetración o

extrusión reversa en un texturómetro, la muestra es sometida a una deformación amplia, en tanto que la medición de propiedades viscoelásticas en un reómetro se realiza bajo condiciones de deformación pequeñas (Angioloni y Collar, 2009).

En el procesamiento industrial, los productos son sometidos a esfuerzos de deformación grandes. Por ello, las pruebas mecánicas que simulan estas condiciones (mimetic tests) son de utilidad para su caracterización reológica. En estos ensayos de deformación amplia, el esfuerzo aplicado produce un cambio estructural permanente, y los resultados que se obtienen muestran una buena correlación con los atributos sensoriales (Angioloni y Collar, 2009).

La firmeza de la dispersión se establece como la máxima fuerza alcanzada al penetrar la sonda en la muestra, en tanto que el área bajo la curva superior indica la consistencia. La región negativa de la figura se produce por el retorno de la sonda, cuyo disco tiene que vencer la resistencia de la muestra al movimiento de salida. La máxima fuerza negativa se toma como la cohesividad del producto y por último, el área inferior es un índice de su viscosidad (resistencia al movimiento de salida del disco) (Cevoli *et al.*, 2013). Los valores de estos parámetros de textura para las dispersiones de los hidrocoloides evaluados se muestran en el **Cuadro 24**.

Cuadro 24. Parámetros de textura obtenidos del ensayo de extrusión reversa para dispersiones del hidrocoloide de chan, gomas xantán, guar y carboximetilcelulosa.

Hidrocoloide en dispersión al 1%	Firmeza (mN)	Consistencia (mN·s)	Cohesividad (mN)	Índice de viscosidad (mN·s)
Chan	1 146 ± 19 ^a	13 609 ± 191 ^a	-796 ± 13 ^a	-7 333 ± 264 ^a
Goma Guar	631 ± 3 ^b	7 664 ± 62 ^b	-457 ± 7 ^b	-4 328 ± 78 ^b
Goma Xantán	644 ± 5 ^b	7 621 ± 25 ^b	-393 ± 3 ^c	-3 591 ± 33 ^b
Carboximetilcelulosa	472 ± 13 ^c	5 487 ± 97 ^c	-334 ± 34 ^d	-2 463 ± 60 ^c

n = 3. Letras diferentes en una columna indican diferencias significativas entre los promedios

La dispersión al 1% de HCH muestra el mayor valor en los parámetros de firmeza y consistencia, pero el menor en la cohesividad e índice de viscosidad evaluados en el ensayo de textura de extrusión reversa ($p < 0,05$). Las dispersiones de goma xantán y guar presentan valores similares de firmeza, consistencia y cohesividad, en tanto que la dispersión de CMC presenta los valores más bajos de los parámetros de textura evaluados. La dispersión de chan presenta una mayor resistencia al movimiento (ingreso y salida) de la sonda del equipo durante en ensayo.

En un estudio de caracterización reológica de dispersiones al 2 % de varios hidrocoloides (Cevoli *et al.*, 2013) se reporta, para este mismo ensayo, el siguiente orden en la magnitud de todos los parámetros de textura evaluados $GG > GX > CM$. Es importante señalar que los valores reportados de estas propiedades para los tres hidrocoloides señalados son menores a los obtenidos en el presente estudio, probablemente por diferencias en los procedimientos empleados.

5.6. Propiedades funcionales del hidrocoloide del chan

Los hidrocoloides son considerados como fibra dietética. Las funciones fisiológicas de la fibra se relacionan con su capacidad de hinchamiento y de retención de agua, su capacidad de ligar grasas, sus propiedades reológicas y su susceptibilidad a ser descompuesta por fermentación bacteriana; además, estas propiedades también fundamentan su funcionalidad tecnológica (Rosell *et al.*, 2009).

Los resultados de las propiedades funcionales evaluadas al HCH se presentan en el **Cuadro 25**. La solubilidad obtenida indica que los sólidos solubles en el HCH representan un 12 % de su masa, que corresponden a compuestos como carbohidratos solubles, proteínas y cenizas. En esta fracción podrían encontrarse polisacáridos de tamaño molecular pequeño que se disuelven en el agua y no quedan dispersos o suspendidos en forma de hidrocoloide hidratado.

Cuadro 25. Propiedades funcionales del hidrocoloide del chan.

Propiedad	Valor*
Solubilidad (g/g HCH)	0,120 ± 0,001 ²
Capacidad de retención de agua (g agua/g HCH seco)	143,0 ± 4,8 ²
Capacidad de hinchamiento (mL agua/g HCH)	89,7 ± 11,1 ²
Capacidad de adsorción de grasa (g aceite/g HCH)	0,97 ± 0,03 ¹
Capacidad emulsificante (mL emulsión/mL dispersión)	0 ¹

*Valores reportados como promedio ± intervalo de confianza. ¹n = 3, ²n = 4

La capacidad de retención de agua (CRA) es la cantidad de agua retenida por 1 g de producto en condiciones específicas de temperatura, tiempo de remojo, duración y velocidad de la centrifugación (Elleuch *et al.*, 2011). La CRA obtenida para el HCH presenta un alto valor, dado que indica que retiene una cantidad de agua igual a 143 veces su masa seca. La capacidad de hinchamiento obtenida es también muy alta e indica que al hidratarse el HCH tiene la capacidad de ocupar un volumen que es 90 veces su masa. Ambas propiedades funcionales revisten gran importancia pues indican una posible aplicación de las dispersiones del HCH como agente espesante o estabilizante en productos dada su alta capacidad de retener agua.

Rashid y colaboradores (2019) reportan valores de CRA mucho menores para goma guar (24,12 g H₂O/g), hidrocoloide de linaza (17,26 g H₂O /g), goma xantán (12,82 g H₂O/g). Para dos galactomananos, goma guar y de *Prosopis spp*, se reporta una capacidad de absorción de agua 16,84 g H₂O/g y 15,84 g H₂O/g respectivamente (López-Franco *et al.*, 2013). Otro estudio del hidrocoloide de linaza reporta una CRA de 25,9 g H₂O /g a 30 °C (Kaushik *et al.*, 2017). En todos estos trabajos los valores de CRA son mucho menores que los encontrados para el HCH. Esta diferencia tan evidente puede deberse a diferencias en la metodología empleada, y por tanto para poder comparar de manera efectiva la CRA de diferentes hidrocoloides se recomienda realizar los ensayos en un mismo estudio.

La capacidad de adsorción de grasa (CAG) del HCH es baja, dado que el hidrocoloide solo adsorbe una cantidad cercana a su masa en aceite. Por último, se encontró que el HCH carece de capacidad de emulsionar un aceite en una dispersión acuosa. Ambas propiedades indican una baja afinidad del hidrocoloide por sustancias no polares. La CAG del HCH es baja respecto a la reportada para la goma xantán (4,07 g aceite/g), goma guar (4,15 g aceite/g) e hidrocoloide de linaza (3,55 g aceite/g) (Rashid *et al.*, 2019). En otro estudio, se reporta para el hidrocoloide de linaza una CAG alrededor de 3 g aceite/g (Kaushik *et al.*, 2017). Por otro lado, los hidrocoloides de xantán, guar y linaza presentan capacidad emulsionante, la cual no posee el HCH de acuerdo con los resultados del presente trabajo.

En los estudios realizados para mucílagos de semillas solamente se reporta que el hidrocoloide de *L. sativum* presenta buena capacidad emulsionante entre 90-95 % (Razmkhah *et al.*, 2016). Para otros hidrocoloides de semillas como como *Ocimum basilicum*, *Salvia macroshipon* y *Lepidium perfoliatum*, *Lallemantia royleana* no se han realizado determinaciones de propiedades funcionales.

6. Conclusiones

La semilla de chan presenta un importante contenido de proteínas (20,4 %), grasas (20,4 %) y de carbohidratos totales (54,5 %) en base seca, que reflejan su potencial como fuente de estos nutrientes para la industria de alimentos. El aceite de la semilla tiene un alto contenido de ácido linolénico, que lo hace una interesante fuente de este ácido graso poliinsaturado. La semilla posee una gran capacidad de absorción agua (27 g agua/g semilla) por la formación de un mucílago viscoso debido a la presencia de un hidrocoloide. El proceso de extracción desarrollado es efectivo para obtener el hidrocoloide seco con un rendimiento de 12 g/g semilla en base seca, con un buen nivel de pureza debido a su bajo contenido de proteínas y de cenizas.

Las dispersiones del hidrocoloide del chan presentan un comportamiento reológico no newtoniano de tipo pseudoplástico, descrito por los modelos Ostwald-de Waele y Herschel-Bulkley. El aumento en la concentración del hidrocoloide en la dispersión provoca un incremento de la viscosidad aparente y de su índice de consistencia, en tanto que un incremento de temperatura provoca que la viscosidad se reduzca acorde a un modelo tipo ecuación de Arrhenius. La modificación de la fuerza iónica del medio por presencia de sales iónicas de sodio o calcio o por pH bajos (3-4) provoca una reducción en la viscosidad de las dispersiones, lo cual es un aspecto que hay que tomar en cuenta en aplicaciones del hidrocoloide en productos con pH bajos o que contienen sales. El análisis dinámico oscilatorio permite establecer la naturaleza viscoelástica de las dispersiones al 2 % del HCH y su comportamiento reológico de gel débil, fenómenos que se deben tomar en cuenta en posibles aplicaciones del hidrocoloide como agente funcional en la formulación de productos.

Las dispersiones al 1 % de HCH son menos viscosas que dispersiones al 1 % de goma guar o goma xantán; sin embargo, sus propiedades de textura en el ensayo "back extrusion" son mayores que las presentadas por estos productos comerciales. Se resalta que el hidrocoloide del chan presenta una alta capacidad de retención de agua (143 g/g HCH) y de hinchamiento (90 mL/g HCH). Las propiedades reológicas y

funcionales del hidrocoloide del chan señalan potencial aplicación en la formulación de productos como agente espesante, estabilizante o modificador de textura.

7. Recomendaciones

- Evaluar el rendimiento de la separación mecánica a nivel piloto del mucílago de chan de dispersiones preparadas bajo diferentes condiciones de R_{as} .
- Evaluar el efecto de una operación de lavado del hidrocoloide precipitado con etanol sobre la pureza del producto seco.
- Evaluar la cinética de absorción de agua de la semilla de chan bajo condiciones de diferentes velocidades o potencia de agitación.
- Realizar una separación de las fracciones neutra y aniónica del hidrocoloide del chan por medio de micro o ultrafiltración para la evaluación de sus propiedades reológicas de las fracciones por separado.
- Analizar el efecto de la variación de la fuerza iónica de dispersiones de HCH sobre sus propiedades reológicas.
- Evaluar el efecto de la concentración del HCH sobre las propiedades viscoelásticas de las dispersiones (G' , G'' , $\tan \delta$ y η^*).
- Comparar las propiedades funcionales (CRA, CH, CAG, S) de dispersiones de goma guar, goma xantán evaluadas con un mismo procedimiento de medición.
- Evaluar el uso del hidrocoloide de chan como agente espesante en productos alimenticios tales como aderezos o salsas.

8. Referencias

- Abagli, A. Z., Alavo, T. B. C., Avlessi, F., y Moudachirou, M. (2012). Potential of the bush mint, *Hyptis suaveolens* essential oil for personal protection against mosquito biting. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 28(1), 15-19.
- Aguirre, C., Torres, I., Mendoza-Hernández, G., Garcia-Gasca, T., y Blanco-Labra, A. (2012). Analysis of protein fractions and some minerals present in chan (*Hyptis suaveolens* L.) seeds. *Journal of Food Science*, 77(1), 15-19.
- Aguirre, C., Valdés-Rodríguez, S., Mendoza-Hernández, G., Rojo-Domínguez, A., y Blanco-Labra, A. (2004). A novel 8.7 kDa protease inhibitor from chan seeds (*Hyptis suaveolens* L.) inhibits proteases from the larger grain borer *Prostephanus truncatus* (Coleoptera: Bostrichidae). *Comparative Biochemistry and Physiology - B Biochemistry and Molecular Biology*, 138(1), 81-89.
- Ahmed, J. (2010). Rheological properties of foods. En M. Farid (Ed.), *Mathematical modeling of food processing*. CRC Press.
- Alghooneh, A., Razavi, S., y Kasapis, S. (2019). Classification of hydrocolloids based on small amplitude oscillatory shear, large amplitude oscillatory shear, and textural properties. *Journal of Texture Studies*, 50(6), 520-538.
- Andersson, R., Westerlund, E., y Åman, P. (2006). Cell-wall polysaccharides structural, chemical and analytical aspects. En N. Eliasson (Ed.), *Carbohydrates in Food*. CRC Press.
- Angioloni, A., y Collar, C. (2009). Small and large deformation viscoelastic behaviour of selected fibre blends with gelling properties. *Food Hydrocolloids*, 23(3), 742-748.
- AOAC. (2005). *AOAC Official Methods of Analysis* (18^{va} ed.). Association of Official Analytical Chemists.
- Arellano, L. (2006). El uso de la chía y el chan en el México antiguo. *Tlatelolco: del Códice al Blog*, September 2006, 1-4.

- Aspinall, G. O., Capek, P., Carpenter, R. C., Gowda, D. C., y Szafranek, J. (1991). A novel l-fuco-4-O-methyl-d-glucurono-d-xylan from *Hyptis suaveolens*. *Carbohydrate Research*, 214(1), 107-113.
- Ayerza, R., y Coates, W. (2006). *Chia Redescubriendo un olvidado alimento de los aztecas*. Del Nuevo Extremo.
- Barak, S., Mudgil, D., y Taneja, S. (2020). Exudate gums: chemistry, properties and food applications – a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(7) 2828-2835.
- Barnes, H., Hutton, J., y Walters, K. (1993). *An Introduction to Rheology*. Elsevier.
- Behbahani, A., Yazdi, F., Shahidi, F., Hesarinejad, M., Mortazavi, S., y Mohebbi, M. (2017). *Plantago major* seed mucilage: Optimization of extraction and some physicochemical and rheological aspects. *Carbohydrate Polymers*, 155, 68-77.
- Behrouzian, F., Razavi, S., y 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 and Technology*, 48(12), 2506-2513.
- Behrouzian, F., Razavi, S., y Phillips, G. O. (2014). Cress seed (*Lepidium sativum*) mucilage, an overview. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 3(1), 17-28.
- BeMiller, J. (2008). Gums and Related Polysaccharides. En B. Fraser-Reid, K. Tatsuta, y J. Thiem (Eds.), *Glycoscience. Chemistry and Chemical Biology* (2^{da} ed.). Springer.
- Betancur-Ancona, D., López-Luna, J., y Chel-Guerrero, L. (2003). Comparison of the chemical composition and functional properties of *Phaseolus lunatus* prime and tailing starches. *Food Chemistry*, 82(2), 217-225.
- Bohdanecky, M., y Kovar, J. (1982). *Viscosity of polymer solutions*. Elsevier Scientific Publishing.
- Bostan, A., Razavi, S., y Farhoosh, R. (2010). Optimization of hydrocolloid extraction from wild sage seed (*Salvia macrosiphon*) using response surface. *International Journal of Food Properties*, 13(6), 1380-1392.

Campos, B. E., Dias Ruivo, T., da Silva Scapim, M. R., Madrona, G. S., y de C. Bergamasco, R. (2016). Optimization of the mucilage extraction process from chia seeds and application in ice cream as a stabilizer and emulsifier. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 874-883.

Capitani, M. (2013). Caracterización y funcionalidad de subproductos de chía (*Salvia hispanica L.*) *Aplicación en Tecnología de Alimentos*. Universidad Nacional de la Plata.

Capitani, M. I., Corzo-Rios, L. J., Chel-Guerrero, L. A., Betancur-Ancona, D. A., Nolasco, S. M., y Tomás, M. C. (2015). Rheological properties of aqueous dispersions of chia (*Salvia hispanica L.*) mucilage. *Journal of Food Engineering*, 149, 70-77.

Cevoli, C., Balestra, F., Ragni, L., y Fabbri, A. (2013). Rheological characterisation of selected food hydrocolloids by traditional and simplified techniques. *Food Hydrocolloids*, 33(1), 142-150.

Chantaro, P., Devahastin, S., y Chiewchan, N. (2008). Production of antioxidant high dietary fiber powder from carrot peels. *LWT - Food Science and Technology*, 41(10), 1987-1994.

Corn Refiners Association. (2006). Corn oil. En *Encyclopedic Dictionary of Polymers* (5^{ta} ed.). Corn Refiners Association.

Coronado, I., Lobo, C., y Chang, G. (2009). *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. Chan. En C. Chízmar (Ed.), *Plantas Comestibles de Centroamérica*. Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio).

Corzo-Rios, L., Chel-Guerrero, L., Betancur-Ancona, D., Nolasco, S., y Tomás, M. (2015). Rheological properties of aqueous dispersions of chia (*Salvia hispanica L.*) mucilage. *Journal of Food Engineering*, 149, 70-77.

Cuomo, F., Iacovino, S., Cinelli, G., Messia, M. C., Marconi, E., y Lopez, F. (2020). Effect of additives on chia mucilage suspensions: A rheological approach. *Food Hydrocolloids*, 109(April), 106118.

- Deng, W., Jeng, D. S., Toorop, P. E., Squire, G. R., y Iannetta, P. P. M. (2012). A mathematical model of mucilage expansion in myxospermous seeds of *Capsella bursa-pastoris* (shepherds purse). *Annals of Botany*, 109(2), 419-427.
- Dickinson, E. (2009). Hydrocolloids and emulsion stability. En G. Phillips y P. Williams (Eds.), *Handbook of Hydrocolloids* (2^{da} ed.). CRC Press.
- Dogan, H., y Kokini, J. (2007). Rheological Properties of of Foods. En D. Heldman y D. Lund (Eds.), *Handbook of Food Engineering* (2^{da} ed, pp. 2-124). CrC Press.
- Doublier, J., y Cuvelier, G. (2006). Gums Hydrocolloids : Functional Aspects. En A.-C. Eliasson (Ed.), *Carbohydrates in Food* (3^{ra} ed, pp. 233-272). CRC Press.
- Ecobiosis. (2013). *Ficha de especie: Hyptis suaveolens (L.) Poit.* Portal Nacional de Diversidad Costarricense.
- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., y Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry*, 124(2), 411-421.
- Falcão, D., y Menezes, F. (2003). Revisão etnofarmacológica, farmacológica e química do gênero *Hyptis*. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 84(3), 69-74.
- Farahnaky, A., Askari, H., Majzoobi, M., y Mesbahi, G. (2010). The impact of concentration, temperature and pH on dynamic rheology of psyllium gels. *Journal of Food Engineering*, 100(2), 294-301.
- Farahnaky, A., Majzoobi, M., y Bakhshizadeh-Shirazi, S. (2019). Emerging Technologies for Isolation of Natural Hydrocolloids from Mucilaginous Seeds. En S. M. A. Razavi (Ed.), *Emerging Natural Hydrocolloids* (pp. 451-472). Wiley.
- Farahnaky, A., Shanesazzadeh, E., Mesbahi, G., y Majzoobi, M. (2013). Effect of various salts and pH condition on rheological properties of *Salvia macrosiphon* hydrocolloid solutions. *Journal of Food Engineering*, 116(4), 782-788.

- Femenia, A., Lefebvre, A. C., Thebaudin, J. Y., Robertson, J. A., y Bourgeois, C. M. (1997). Physical and sensory properties of model foods supplemented with cauliflower fiber. *Journal of Food Science*, 62(4), 635-639.
- Fiszman, S., y Varela, P. (2013). The role of gums in satiety/satiation. A review. *Food Hydrocolloids*, 32(1), 147-154.
- Gao, Z., Fang, Y., Cao, Y., Liao, H., Nishinari, K., y Phillips, G. O. (2017). Hydrocolloid-food component interactions. *Food Hydrocolloids*, 68, 149-156.
- Garavaglia, J., Markoski, M. M., Oliveira, A., y Marcadenti, A. (2016). Grape seed oil compounds: Biological and chemical actions for health. *Nutrition and Metabolic Insights*, 9, 59-64.
- Gómez, M., y Maes, J.-M. (2005). Insectos asociados al cultivo de chan (*Hyptis suaveolens*). *Revista Nicaragüense de Entomología*, 65(supl 2).
- Gowda, C. (1984). Polysaccharide components of the seed coat mucilage of *Hyptis suaveolens*. *Pythochemistry*, 23(2), 337-338.
- ammel, B., Grayum, M., Herrera, C., y Zamora, N. (Eds.). (2007). *Manual de Plantas de Costa Rica*. Missouri Botanical Garden Press.
- Hoefler, A. (2004). *Hydrocolloids*. Eagan Press.
- Hosseini-Parvar, S. H., Matia-Merino, L., Goh, K. K. T., Razavi, S., y Mortazavi, S. (2010). Steady shear flow behavior of gum extracted from *Ocimum basilicum* L. seed: Effect of concentration and temperature. *Journal of Food Engineering*, 101(3), 236-243.
- Ixtaina, V., Martínez, M., Spotorno, V., Mateo, C., Maestri, D., Diehl, B. W., Nolasco, S. , y Tomás, M. (2011). Characterization of chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(2), 166-174.
- Izydorczyk, M., Cui, S., y Wang, Q. (2005). Polysaccharide Gums: Structures, Functional Properties, and Applications. En S. Cui (Ed.), *Food Carbohydrates Chemistry, Physical Properties and Application*. CRC Press.

- Jesus, N., Falcão, H., Lima, G. ., Caldas Filho, M., Sales, I., Gomes, I., Santos, S., Tavares, J., Barbosa-Filho, J., y Batista, L. (2013). *Hyptis suaveolens* (L.) Poit (Lamiaceae), a medicinal plant protects the stomach against several gastric ulcer models. *Journal of Ethnopharmacology*, 150(3), 982-988.
- Jouki, M., Mortazavi, S. A., Yazdi, F. T., y Koocheki, A. (2014). Optimization of extraction, antioxidant activity and functional properties of quince seed mucilage by RSM. *International Journal of Biological Macromolecules*, 66, 113-124.
- Karazhiyan, H., Razavi, S., y 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.
- Karazhiyan, H., Razavi, S., Phillips, G. O., Fang, Y., Al-Assaf, S., Nishinari, K., y Farhoosh, R. (2009). Rheological properties of *Lepidium sativum* seed extract as a function of concentration, temperature and time. *Food Hydrocolloids*, 23(8), 2062-2068.
- Kaushik, P., Dowling, K., Adhikari, R., Barrow, C. J., y Adhikari, B. (2017). Effect of extraction temperature on composition, structure and functional properties of flaxseed gum. *Food Chemistry*, 215, 333-340.
- Kermany, B. P. (2010). *Carbopol hydrogels for topical administration treatment of wounds*. University of Tromsø.
- Koocheki, A., Mortazavi, S. A., Shahidi, F., Razavi, S., Kadkhodae, R., y Milani, J. M. (2010). Optimization of mucilage extraction from Qodume Shirazi seed (*Alyssum homolocarpum*) using response surface methodology. *Journal of Food Process Engineering*, 33(5), 861-882.
- Koocheki, A., Mortazavi, S. A., Shahidi, F., Razavi, S., y Taherian, A. R. (2009). Rheological properties of mucilage extracted from *Alyssum homolocarpum* seed as a new source of thickening agent. *Journal of Food Engineering*, 91(3), 490-496.

Koocheki, A., Taherian, A. R., y Bostan, A. (2013). Studies on the steady shear flow behavior and functional properties of *Lepidium perfoliatum* seed gum. *Food Research International*, 50(1), 446-456.

Koocheki, A., Taherian, A. R., Razavi, S., y 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.

Kreitschitz, A. (2009). Biological Properties of Fruit and Seed Slime Envelope: How to Live, Fly, and Not Die. En S. N. Gorb (Ed.), *Functional Surfaces in Biology: Little Structures with Big Effects* (vol 1). Springer.

Lapasin, R., y Prich, S. (1995). *Rheology of industrial polysaccharides Theory and application*. Blackie Academic and Profesional.

Lefebvre, J., y Doublier, J. (2004). Rheological Behavior of Polysaccharides Aqueous Systems. En S. Dumitriu (Ed.), *Polysaccharides Structural Diversity and Functional Versatility* (2^{da} ed.). CRC Press.

León, J., y Poveda, L. (1999). *Los nombres comunes de plantas en Costa Rica*. FEUNA.

Li, J. E., Nie, S. P., Yang, C., Qiu, Z. H., y Xie, M. Y. (2011). Extraction optimization, characterization and bioactivity of crude polysaccharides from Herba Moslae. *Carbohydrate Polymers*, 83(3), 1201-1206.

Li, J., y Nie, S. (2016). The functional and nutritional aspects of hydrocolloids in foods. *Food Hydrocolloids*, 53, 46-61.

Lira, R., Casas, A., y Blancas, J. (eds.). (2016). *Etnobotany of México Interactions of People and Plants in Mesoamerica*. Springer.

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

- Lu, W., Nishinari, K., Matsukawa, S., y Fang, Y. (2020). The future trends of food hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*, 103 (June 2020), 105713.
- Majzoob, M., y Bakhshizadeh-Shirazi, S. (2019). Introduction to Emerging Natural Hydrocolloids. En S. Razavi (Ed.), *Emerging Natural Hydrocolloids Rheology and functions*. Wiley.
- Marcotte, M., Hoshahili, A. R. T., y Ramaswamy, H. S. (2001). Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. *Food Research International*, 34(8), 695-703.
- Marineli, R. da S., Moraes, É. A., Lenquist, S. A., Godoy, A. T., Eberlin, M. N., y Maróstica, M. R. (2014). Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean chia seeds and oil (*Salvia hispanica* L.). *LWT - Food Science and Technology*, 59(2P2), 1304-1310.
- Masís, A., Espinoza, R., Chavarría, F., Guadamuz, A., y Pérez, D. (1998). *Species Page de Hyptis suaveolens (Lamiaceae)*.
- Mathur, N. (2012). Rheology of Hydrocolloids. En N. Mathur (Ed.), *Industrial Galactomannan Polysaccharides* (pp. 41-48). CRC Press.
- Matos-Chamarro, A., y Chambilla-Mamani, E. (2010). Importancia de la Fibra Dietética y sus Propiedades Funcionales en la Alimentación Humana y en la Industria Alimentaria. *Revista de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1).
- Medina-Torres, L., Brito-De La Fuente, E., Torrestiana-Sanchez, B., y Katthain, R. (2000). Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). *Food Hydrocolloids*, 14(5), 417-424.
- Mezger, T. (2011). *The Rheology Handbook. For users of rotational and oscillatory rheometers*. 3^{ra} ed. Vincentz Network.
- Moniri, H., Farahmandfar, R., y Motamedzadegan, A. (2020). Cress seed (*Lepidium sativum*) gum dried by vacuum, freeze, and microwave drying methods: Structural, rheological, emulsifying, and foaming properties. *Journal of Food Process Engineering*, January.

Montúfar, A. (2007). Las chías sagradas del Templo Mayor de Teotihuacán. *Arqueología Mexicana*, 14(84), 82-85.

Mueller, M., Čavarkapa, A., Unger, F. M., Viernstein, H., y Praznik, W. (2017). Prebiotic potential of neutral oligo- and polysaccharides from seed mucilage of *Hyptis suaveolens*. *Food Chemistry*, 221, 508-514.

Muñoz, L. A. (2012). *Mucilage From Chia Seeds (Salvia Hispanica): Microestructure, Physico-Chemical Characterization and Applications in Food Industry* [Pontificia Universidad Católica de Chile].

Muñoz, L. A., Cobos, A., Diaz, O., y Aguilera, J. M. (2012). Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration. *Journal of Food Engineering*, 108(1), 216-224.

Naji-Tabasi, S., y Razavi, S. (2017). New studies on basil (*Ocimum basilicum* L.) seed gum : Part III- Steady and dynamic shear rheology. *Food hydrocolloids*, 67, 243-250.

Nantitanon, W., Chowwanapoonpohn, S., y Okonogi, S. (2007). Antioxydant and antimicrobial activities of *Hyptis suaveolens* essential oil. *Scientia Pharmaceutica*, 46, 35-46.

Nazir, S., Wani, I. A., y Masoodi, F. A. (2017). Extraction optimization of mucilage Basil (*Ocimum basilicum* L.) seeds using response surface methodology. *Journal of Advanced Research*, 8, 235-244.

Peleg, M. (1988). An Empirical Model for the Description of Moisture Sorption Curves. *Journal of Food Science*, 53(4), 1216-1217.

Pérez-Orozco, J. P., Sánchez-Herrera, L. M., y Ortiz-Basurto, R. I. (2019). Effect of concentration, temperature, pH, co-solutes on the rheological properties of *Hyptis suaveolens* L. mucilage dispersions. *Food Hydrocolloids*, 87(July 2018), 297-306.

Pessoa Moreira, A., de Oliveira Lima, E., Alves Wanderley, P., Santos Carmo, E., y Leite de Souza, E. (2010). Chemical composition and antifungal activity of *Hyptis suaveolens* (L.) Poit leaves essential oil against *Aspergillus* species. *Brazilian Journal of Microbiology*, 41(1), 28-33.

- Phillips, G., y Williams, P. A. (2009). Handbook of Hydrocolloids. En G. O. Phillips y P. A. Williams (Eds.), *Handbook of Hydrocolloids* (2^{da} ed.). Woodhead Publishing.
- Prajapati, V. D., Jani, G. K., Moradiya, N. G., y Randeria, N. P. (2013). Pharmaceutical applications of various natural gums, mucilages and their modified forms. *Carbohydrate Polymers*, 92(2), 1685-1699.
- Praznik, W., Čavarkapa, A., Unger, F. M., Loeppert, R., Holzer, W., Viernstein, H., y Mueller, M. (2017). Molecular dimensions and structural features of neutral polysaccharides from the seed mucilage of *Hyptis suaveolens* L. *Food Chemistry*, 221, 1997-2004.
- Pruska-Kedzior, A., y Kedzior, Z. (2007). Rheological Properties of Food Systems. En E. S. Zdzislaw (Ed.), *Chemical and Functional Properties of Food Components* (3^{ra} ed., pp. 209-243). CRC Press.
- Rai, I., Bachheti, R. K., Joshi, A., y Pandey, D. P. (2013). Physicochemical properties and elemental analysis of some non cultivated seed oils collected from Garhwal region, Uttarakhand (India). *International Journal of ChemTech Research*, 5(1), 232-236.
- Raizada, P. (2006). Ecological and vegetative characteristics of a potent invader *Hyptis suaveolens* Poit. from India. *Lyonia*, 11(2), 115-120.
- Ramsden, L. (2004). Plant and Algal Gums and Mucilages. En P. Tomasik (Ed.), *Chemical and functional properties of food saccharides*. CRC Press.
- Rao, M. (2014). *Rheology of Fluid, Semisolid, and Solids Foods Principles and Applications* (3^{ra} ed.). Springer.
- Rashid, F., Ahmed, Z., Hussain, S., Huang, J. Y., y Ahmad, A. (2019). *Linum usitatissimum* L. seeds: Flax gum extraction, physicochemical and functional characterization. *Carbohydrate Polymers*, 215 (July 2019), 29-38.
- Razavi, S. (2019). Introduction to Emerging Natural Hydrocolloids. En S. Razavi (Ed.), *Emerging Natural Hydrocolloids* (pp. 1-52). Wiley.

- Razavi, S., Cui, S. W., Guo, Q., y Ding, H. (2014). Some physicochemical properties of sage (*Salvia macrosiphon*) seedgum. *Food Hydrocolloids*, 35, 453-462.
- Razavi, S., y Irani, M. (2019). Rheology of Food Gum. En J.-M. Mérillon y K. G. Ramawat (Eds.), *Bioactive Molecules in Food* (pp. 1959-1985). Springer.
- Razavi, S., Mortazavi, S., Matia-Merino, L., Hosseini-Parvar, S. H., Motamedzadegan, A., y Khanipour, E. (2009). Optimisation study of gum extraction from Basil seeds (*Ocimum basilicum* L.). *International Journal of Food Science and Technology*, 44(9), 1755-1762.
- Razavi, S., y Naji-Tabasi, S. (2017). Rheology and Texture of Basil Seed Gum: A New Hydrocolloid Source. En J. Ahmed (Ed.), *Advances in Food Rheology and Its Applications* (pp. 405-435). Elsevier.
- Razavi, S., Taheri, H., y Quinchia, L. A. (2011). Steady shear flow properties of wild sage (*Salvia macrosiphon*) seed gum as a function of concentration and temperature. *Food Hydrocolloids*, 25(3), 451-458.
- Razmkhah, S., Razavi, S., y Mohammadifar, M. (2017). Dilute solution, flow behavior, thixotropy and viscoelastic characterization of cress seed (*Lepidium sativum*) gum fractions. *Food Hydrocolloids*, 63, 404-413.
- Razmkhah, S., Razavi, S., y Mohammadifar, M. A. (2016). Purification of cress seed (*Lepidium sativum*) gum: A comprehensive rheological study. *Food Hydrocolloids*, 61, 358-368.
- Ribeiro Veiga de Moura, M., y Barros, R. (2019). Concentration, brine salinity and temperature effects on xanthan gum solutions rheology. *Applied Rheology*, 29(1), 69-79.
- Rosell, C. M., Santos, E., y Collar, C. (2009). Physico-chemical properties of commercial fibres from different sources: A comparative approach. *Food Research International*, 42(1), 176-184.
- Rupérez, P., y Bravo, L. (2001). Oligofructanos y gomas. En F. Lajolo, F. Saura Calixto, E. Witting, y E. Wenzel (Eds.), *Fibra Dietética en Iberoamérica: Tecnología y Salud*. Varela.

- Saha, D., y Bhattacharya, S. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: A critical review. *Journal of Food Science and Technology*, 47(6), 587-597.
- Sahin, S., y Sumnu, G. (2006). Rheological properties of foods. En S. Sahin y G. Sumnu (Eds.), *Physical Properties of Foods* (pp. 39-105). Springer.
- Salehi, F., Kashaninejad, M., y 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.
- Sciarini, L. S., Maldonado, F., Ribotta, P. D., Pérez, G. T., y León, A. E. (2009). Chemical composition and functional properties of *Gleditsia triacanthos* gum. *Food Hydrocolloids*, 23(2), 306-313.
- Sharma Prince, P., Roy Ram, K., Anurag, G., y Sharma, V. (2013). *Hyptis suaveolens* (L.) Poit: A phyto-pharmacological review. *International Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 4(1), 1-11.
- Soukoulis, C., Gaiani, C., y Hoffmann, L. (2018). Plant seed mucilage as emerging biopolymer in food industry applications. *Current Opinion in Food Science*, 22, 28-42.
- Steffe, J. (1996). *Rheological Methods in Food Process engineering* (2^{da} ed.). Freeman Press.
- Sullivan, D. M., y Carpenter, D. E. (1993). *Methods of Analysis of Nutritional Labeling*. Association of Official Analytical Chemists.
- Timilsena, Y. P., Adhikari, R., Kasapis, S., y Adhikari, B. (2015). Rheological and microstructural properties of the chia seed polysaccharide. *International Journal of Biological Macromolecules*, 81, 991-999.
- Timilsena, Y. P., Adhikari, R., Kasapis, S., y Adhikari, B. (2016). Molecular and functional characteristics of purified gum from Australian chia seeds. *Carbohydrate Polymers*, 136, 128-136.
- Torres, I. (2017). Politécnicos hallan en planta considerada maleza un compuesto anticancerígeno. *La Crónica de Hoy*, 8 agosto.

- Turhan, M., Sayar, S., y Gunasekaran, S. (2002). Application of Peleg model to study water absorption in chickpea during soaking. *Journal of Food Engineering*, 53(2), 153-159.
- Umendum Ngozi, L., Ugochukwu, N., Udeosifeoma, P., Anarado Charity, E., y Egwuatu Chinyelu, I. (2014). The Efficacy of *Hyptis suaveolens*: A Review of its Nutritional and Medicinal Applications. *European Journal of Medicinal Plants*, 4(6), 661-674.
- Vázquez-Galindo, J., Madrigal-Ambriz, L., Rodríguez-Pérez, M., y Gaitan-Hinojosa, M. (2010). Extracción y caracterización fisico-química del mucílago de dos variedades de chan (*Hyptis suaveolens* (L.) Poit). *XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1-10.
- Vergara-Santana, M., Lemus-Juárez, S., y Bayardo-Parra, R. (2005). Efecto de la selección artificial en el "Chan" (*Hyptis suaveolens* (L.) Poit. (Labiatae) sobre su morfología floral y la floración Artificial selection effects upon floral morphology and blooming in. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 9(3), 19-31.
- Vibrans, H. (Ed.). (2011). *Hyptis suaveolens - ficha informativa*. Malezas de México; Conabio, México.
- Viebke, C., Al-Assaf, S., y Phillips, G. O. (2014). Food hydrocolloids and health claims. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 4(2), 101-114.
- Wang, Q., y Cui, S. W. (2005). Understanding the Physical Properties of Food Polysaccharides. En S. Cui (Ed.), *Food Carbohydrates Chemistry, Physical Properties, and Applications* (pp. 2-58). CRC Press.
- Ward, F. M., Hanway, W. H., y Ward, R. B. (2005). Food Gums: Functional Properties and Applications. En Y. Hui (Ed.), *Handbook of Food Science, Technology and Engineering* (pp. 1-16). CRC Press.
- Western, T. L., Skinner, D. J., y Haughn, G. W. (2000). Differentiation of mucilage secretory cells of the Arabidopsis seed coat. *Plant Physiology*, 122(2), 345-355.

- Whistler, R., y BeMiller, J. (1997). *Carbohydrate Chemistry for Food Scientists*. Eagan Press.
- Williams, P., y Phillips, G. (2009). Introduction to Food Hydrocolloids. En G. Phillips y P. Williams (Eds.), *Handbook of Hydrocolloids* (2^{da} ed.). Woodhead Publishing.
- Yada, D., Siva Kumar, T., y Srinivas, N. (2017). Review on *Hyptis suaveolens* (L.) poit (Lamiaceae) - A potential plant. *International Journal of frontiers in Science and Technology*, 5(4), 38-57.
- Yemenicioğlu, A., Farris, S., Turkyilmaz, M., y Gulec, S. (2020). A review of current and future food applications of natural hydrocolloids. *International Journal of Food Science and Technology*, 55(4), 1389-1406.
- Yousefi, A. R., Eivazlou, R., y Razavi, S. (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.
- Ziolkowska, A. (2012). Laws of flaxseed mucilage extraction. *Food Hydrocolloids*, 26(1), 197-204.