

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS



DETERMINACION DEL COMPORTAMIENTO REOLOGICO DE
INTERACCIONES MOLECULARES ENTRE EL BIOPOLIMERO DE LA CHÍA
(*Salvia Hispánica L.*) Y GRENETINA

TESIS

Presentada por:

SARA GABRIELA TORRES URBANO

Como requisito para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila México. Noviembre 2015.

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Por:

SARA GABRIELA TORRES URBANO

Que se somete a la consideración del H. jurado examinador como
requisito para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS



Dr. Emmanuel Flores Huicochea

Director



Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez

Asesor

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Por:

SARA GABRIELA TORRES URBANO

Que se somete a la consideración del H. jurado examinador como
requisito para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

APROBADO

Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez
Presidente del Jurado

MC. Mildred Inna Marcela Flores Verástegui
Sinodal

Dr. Emmanuel Flores Huicochea
Sinodal

Dr. Armando Robledo Olivo
Sinodal

Dr. José Dueñez Afanís
Coordinador de la División de Ciencia Animal



Buenavista, Saltillo, Coahuila México. Noviembre 2015.

Agradecimiento CeProBi-IPN

El presente trabajo de tesis fue realizado en los laboratorios del Departamento de Desarrollo Tecnológico del Centro de Desarrollo de Productos Bióticos (CeProBi), del Instituto Politécnico Nacional, colaborando dentro del proyecto “Interacciones moleculares gelatina-biopolímero de la chía (*Salvia Hispánica L.*) Clave SIP: 20150730, bajo la dirección del Dr. Emmanuel Flores Huicochea, agradeciendo las facilidades otorgadas para dicho trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente quiero agradecer a Dios por haberme dado la oportunidad de llegar a concluir mi carrera, porque siempre a pesar de muchas trabas y tropiezos, siempre pude salir adelante.

A mi familia por su apoyo, a mis padres Pedro y Guillermina, a mis hermanas Sonia y Argelia, a mi sobrino Pedro.

A mi novio Roberto Rodríguez Palomo, que siempre me ha apoyado en todo momento, que nunca me ha dejado que me dé por vencida, así como a su familia, Doña Rosario, Don Beto, Montse, de los cuales siempre he recibido apoyo.

A mis asesores, Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez, y Dr. Emmanuel Flores Huicochea, por su paciencia, por compartir sus conocimientos, y por su enseñanza.

A mis sinodales, M.C. Mildred Inna Marcela Flores Verástegui, y al Dr. Armando Robledo Olivo, por su apoyo en el presente trabajo.

A todos mis maestros que fueron una parte fundamental para mi aprendizaje.

Muchas gracias a todos y cada uno.

Índice de figuras	8
Índice de tablas	9
RESUMEN	10
CAPÍTULO I	11
1 INTRODUCCIÓN.....	11
CAPITULO II	12
2 ANTECEDENTES.....	12
2.1 Gelatina.....	12
2.2 Chía (<i>Salvia hispánica L.</i>)	13
2.3 Reología.....	14
2.4 Caracterización reológica de un material	15
2.4.1 Tipos de reómetros.....	16
2.4.2 Geometrías.....	16
2.4.3 Comportamiento reológico de biopolímeros	17
2.4.4 Pruebas Oscilatorias.....	17
2.5 Estudios realizados	19
3 JUSTIFICACIÓN.....	20
4 Objetivos.....	21
4.1 Objetivo general	21
4.2 Objetivos específicos	21
5 HIPÓTESIS.....	22
CAPITULO III	23
6 MATERIALES Y METODOS.....	23
6.1 Materia prima	23
6.1.1 Semilla de chía	23
6.1.2 Gelatina	23
6.2 Proceso de obtención biopolímero de chía	23
6.3 Determinación de humedad	24
6.4 Determinación de proteína método Lowry.....	24
6.5 Determinación de carbohidratos totales método Dubois.....	25

6.6	Análisis reológico	26
6.6.1	Barridos de deformación.....	26
6.6.2	Barridos de temperatura	26
6.6.3	Concentraciones de biopolímero empleados.....	26
CAPITULO IV		27
7	RESULTADOS	27
7.1	Análisis de materia prima	27
7.2	Análisis reológico	27
7.2.1	Región visco elástica lineal.....	27
7.2.2	Barridos de temperatura	31
8	DISCUSIÓN.....	42
9	CONCLUSIÓN.....	44
10	Bibliografía.....	45
11	APÉNDICE	50

Índice de figuras

Figura 1. Tipos de esfuerzo aplicables a un material.	15
Figura 2. Tipos de geometría utilizadas para caracterización reológica de fluidos.	16
Figura 3. Barrido de deformación del biopolímero de chia 0.5% a 40 °C.....	28
Figura 4. Barrido de deformación del biopolímero de chia 0.7 % y 25 °C.	29
Figura 5. Barrido de deformación del biopolímero de chia al 1%, en el intervalo de temperatura de 25 a 60 °C.	30
Figura 6. Barrido de temperatura para el biopolímero de chia a una concentración de 1%. Los círculos representan el calentamiento y los triángulos para enfriamiento.....	32
Figura 7. Barrido de temperatura de gelatina a una concentración de 1%. Los círculos representan el calentamiento y los triángulos para enfriamiento.	33
Figura 8. Barrido de temperatura mezcla gelatina:chia (75:25), concentración total de biopolímeros 1%, 0 mM Na ⁺	36
Figura 9. Barrido de temperatura mezcla gelatina:chia (75:25), concentración total de biopolímeros 1%, 5 mM Na ⁺	36
Figura 10. Barrido de temperatura mezcla gelatina:chia (75:25), concentración total de biopolímeros 1%, 10 mM Na ⁺	37
Figura 11. Barrido de temperatura mezcla gelatina:chia (75:25), concentración total de biopolímeros 1%, 50 mM Na ⁺	37
Figura 12. Barrido de temperatura mezcla gelatina:chia (50:50), concentración total de biopolímeros 1%, 0 mM Na ⁺	38
Figura 13. Barrido de temperatura mezcla gelatina:chia (50:50), concentración total de biopolímeros 1%, 5 mM Na ⁺	38
Figura 14. Barrido de temperatura mezcla gelatina:chia (50:50), concentración total de biopolímeros 1%, 10 mM Na ⁺	39
Figura 15. Barrido de temperatura mezcla gelatina:chia (50:50), concentración total de biopolímeros 1%, 50 mM Na ⁺	39
Figura 16. Barrido de temperatura mezcla gelatina:chia (25:75), concentración total de biopolímeros 1%, 0 mM Na ⁺	40
Figura 17. . Barrido de temperatura mezcla gelatina:chia (25:75), concentración total de biopolímeros 1%, 5 mM Na ⁺	40
Figura 18. Barrido de temperatura mezcla gelatina:chia (25:75), concentración total de biopolímeros 1%, 10 mM Na ⁺	41
Figura 19. . Barrido de temperatura mezcla gelatina:chia (25:75), concentración total de biopolímeros 1%, 50 mM Na ⁺	41
Figura 20. Curva estándar de proteína método de Lowry	50

Figura 20. Curva estándar de glucosa método Dubois 51

Índice de tablas

Tabla 1. Mezcla de Gelatina:Chia a una concentración total de biopolímeros de 1% y tres relaciones de gelatina:chia. 27

Tabla 2. Relación de biopolímeros a una concentración total del 1 %. 34

Tabla 3. Valores máximos de G' de la mezcla de biopolímeros (gelatina:chia) a una concentración total de 1%. 42

RESUMEN

Se obtuvo la región visco elástica lineal de grenetina y biopolímero de chía en el intervalo de concentración de 0.5 a 1% y temperatura de 25 a 50 °C. Se analizó el comportamiento de los barridos de temperatura en la región visco elástica lineal de grenetina, biopolímero de chía y mezclas de grenetina: biopolímero de chía (75:25, 50:50 y 25:75) usando una concentración total de biopolímero de 1%.

El barrido de temperatura mostro para el biopolímero de chía que $G' > G''$ en todo el intervalo de temperaturas analizado y una dependencia de G' y G'' con la temperatura. Los valores máximos de G' de los biopolímeros solos fueron 1 y 30 Pa para grenetina y biopolímero de chía respectivamente.

En todas las mezclas grenetina: biopolímero de chía se observó $G' > G''$ y una dependencia de los módulos con la temperatura característico de las soluciones de biopolímeros concentradas. Al mantener constante el nivel de iones adicionados e incrementar el nivel de la relación grenetina: chía se incrementa los valores de G' máximos. Cuando se mantiene constante la relación grenetina: chía y se incrementa el nivel de iones adicionados los valores máximos de G' disminuyen.

Palabras Clave: *Chía, Biopolímero, Reología*

Correo electronico; Sara Gabriela Torres Urbano, tgabriela699@gmail.com

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

Las interacciones moleculares son las que determinan las propiedades específicas de cada sustancia, siendo estas tan simples como las que se encuentran en el agua o tan complejas como las presentes en los polímeros. En las interacciones las moléculas integran un todo, el cual trabaja y responde a los estímulos del medio en que se desenvuelve. Estas propiedades reflejan el control que poseen los núcleos de los átomos sobre los electrones de una molécula, ya sea acumulando electrones en determinada región, o permitiendo que estos respondan con mayor o menor fuerza ante campos eléctricos externos y son de importancia ya que mediante ellas se comprenden las formas que adoptan las macromoléculas biológicas y sintéticas. Existen diferentes tipos de interacciones, por ejemplo las de van der Waals, que es una interacción entre moléculas de capas completas dependiendo de las distancias entre sus moléculas, las interacciones entre iones y cargas parciales de moléculas polares, e interacciones repulsivas las cuales evitan el colapso de la materia a densidades nucleares (Atkins & De Paula, 2007; Cadenas Bergua, 1977).

El uso de biopolímeros o mezcla de biopolímeros para aplicaciones diversas como la fabricación de bioplásticos, presupone la existe una interacción molecular entre los biopolímeros. La forma usual de probar mezclas de biopolímeros para la elaboración de películas, es realizar pruebas mecánicas, pruebas de permeabilidad a gases, posterior al análisis de datos experimentales se decide la eficacia o no de la mezcla. Este trabajo propone realizar mediciones reológicas de mezcla de biopolímeros como una forma indirecta de medir la interacción molecular, como una forma potencial de selección de mezcla de biopolímeros con interacción molecular.

CAPITULO II

2 ANTECEDENTES

2.1 Gelatina

La gelatina es un biopolímero funcional el cual se obtiene de la piel o huesos de porcinos o bovinos mediante la hidrólisis parcial del colágeno, el principal componente de estos, en condiciones alcalinas a 60 °C, es clara flexible e impermeable al oxígeno, pero no presenta buena permeabilidad al agua, presentan mala termo estabilidad y se disuelven rápidamente en agua caliente ("Gomez-Guillen M C; Turnay J; Fernandez-Díaz M D; Ulmo N; Lizarbe M A; Montero P," 2002). En el área alimentaria, farmacéutica y cosmética es ampliamente utilizado porque representa una alternativa viable como un material formador de películas debido a su abundancia, bajo costo y disponibilidad utilizándose como estabilizante y agente gelificante por su gran biocompatibilidad, biodegradabilidad y ser apto para el consumo humano, así como agente reductor de carbohidratos en alimentos destinados a personas diabéticas (Boran, Mulvaney, & Regenstein, 2010; Burke, Hsu, & Volkin, 1999)

Últimamente se ha prestado gran interés en la extracción de gelatinas de fuentes alternativas, como lo son restos de pescados y aves de corral, presentando bajo rendimiento, por el hecho de que las gelatinas provenientes de bovinos y porcinos han presentado restricciones religiosas así como de seguridad social, porque pudieran estar contaminadas por agentes patógenos y vectores como los priones del animal enfermo, sin embargo en 2003 en Europa se confirmó que el riesgo asociado a la gelatina es cercano a cero (Schrieber & Gareis, 2007).

La principal desventaja de la obtención de gelatina de origen marino se basa en que esta es menos estable y sus propiedades reológicas son muy pobres, por lo que se limita su aplicación, pero solo en gelatinas provenientes de especies de agua fría como el bacalao y el salmón, en cambio con especies de agua caliente

como tilapia, presentan propiedades reológicas y termoestables similares a las de los mamíferos terrestres, dependiendo del tipo de especie y condiciones de procesamiento (Gomez-Guillen, Giménez, López Caballero, & Montero, 2011).

2.2 Chía (*Salvia hispánica* L.)

La planta *Salvia hispánica* L. tiene su origen en Mesoamérica, es nativa de las áreas montañosas del Oeste y centro de México. Es comúnmente conocida como chía, que en náhuatl significa "semilla de la que se obtiene aceite" (Watson, 1938). En los años 3500 a.C. se utilizó como alimento principalmente cultivándose en el valle de México por las civilizaciones Teotihuacanas y Toltecas, siendo uno de los principales componentes de la alimentación Azteca, junto con el amaranto y el maíz (Rodríguez Vallejo, 1992). La chía fue utilizada como materia prima en la elaboración de medicina, pinturas y como ofrendas en ceremonias religiosas. Con el paso de los años su comercialización se extendió a diversas regiones del país, lo que propicio su estudio y un mayor interés con respecto a sus propiedades.

La planta pertenece a la familia de las lamiáceas, la cual puede alcanzar una altura de entre 1-1.5m, contiene una alta concentración de ácido alfa linolénico, omega 3, y además es una buena fuente de fibra, proteínas y antioxidantes. La semilla presenta una forma oval de 1-1.2mm de ancho, de 2-2mm de largo de superficie lisa y brillante, la cual tiene la capacidad de producir un mucilago cuando se hidrata, (5-6%), el cual puede utilizarse como fibra dietética (Marineli et al., 2014; Salgado-Cruz et al., 2013).

El mucilago es un polisacárido de alto peso molecular, el cual se encuentra en las primeras tres capas de la cubierta de la semilla, lo que provoca que cuando esta se hidrata salga y forme una capa viscosa transparente que la rodea totalmente (Marianela I. Capitani, Ixtaina, Nolasco, & Tomás, 2013). Posee propiedades espesantes, gelificantes, estabilizantes, que aunadas a su alta solubilidad y capacidad de retención de agua, le han proporcionado una amplia variedad de

aplicaciones en el área alimentaria (M. I. Capitani et al., 2015; Inglett, Chen, Liu, & Lee, 2014).

2.3 Reología

La palabra reología fue dada por Eugene C. Bingham en 1928 a partir de trabajos de Heráclito, dando como significado “cada cosa fluye”, estableciéndose como la ciencia de la deformación y el flujo de materia (Quintáns Riveiro, 2008). Mediante esta disciplina se contribuye al conocimiento de la estructura de los alimentos, mostrando la relación existente entre tamaño y forma molecular de sustancias en disolución, la distribución de sus componentes, su viscosidad, el grado de entrecruzamiento de los polímeros y su elasticidad, arrojando datos que mostrarán los posibles cambios que se generarán durante los procesos a los que serán sometidos (De Hombre Morgado, 2002; Ramírez Navas, 2006). La reología aporta muchos beneficios en diversas industrias como la alimentaria, farmacéutica, aceitera, química entre otras, incluyéndose en estudios como lo son (Morrison, 2001):

- ❖ Vida de anaquel
- ❖ Calidad de pegamentos
- ❖ Análisis de productos cosméticos
- ❖ Formulación de medicamentos
- ❖ Caracterización de elastómeros y polímeros como PVC
- ❖ Estabilidad de emulsiones y suspensiones
- ❖ Caracterización de gasolina y otros hidrocarburos
- ❖ Diseño de equipos
- ❖ Sistemas de mezcla y agitación (bioreactores).

2.4 Caracterización reológica de un material

Las propiedades reológicas de un material quedan determinadas mediante la relación matemática entre el esfuerzo aplicado y la respuesta de este como deformación o flujo, por lo tanto se estudia la relación entre las variables esfuerzo (σ), deformación producida (γ), gradiente de velocidad o velocidad de deformación y tiempo (Steffe, 1992).

El esfuerzo producido depende de la dirección de la fuerza aplicada y el área donde esta actúa, resultando un esfuerzo de tracción o compresión, realizándose una fuerza perpendicular a la superficie, pero en sentidos opuestos, o esfuerzo de corte o cizalla (fuerza en dirección paralela a una cara), Ver Figura 1. El estudio de los fluidos se logra al someterlos a un cizallamiento continuo a una velocidad constante (Schramm & Gebrueder, 1994; Steffe, 1992).

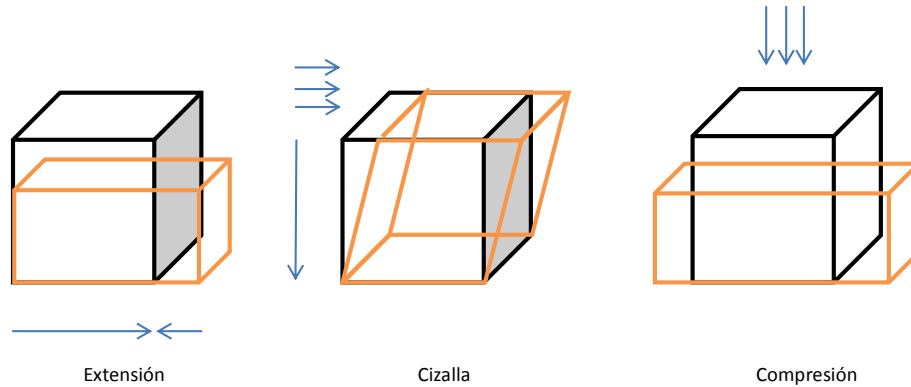


Figura 1. Tipos de esfuerzo aplicables a un material.

2.4.1 Tipos de reómetros

Un reómetro es un instrumento capaz de medir las propiedades reológicas de un material determinando las funciones de este. Existen diversas formas de clasificar los reómetros, una de ellas es teniendo en cuenta que funciones de material pueden medir, dando lugar a dos grupos según su cinemática: cizalla y extensión. Otra división, es según el tipo de deformación, dando lugar a tres regímenes: pequeña deformación, alta deformación y deformación estacionaria (Moreno Botella, 2005; Schramm & Gebrueder, 1994).

2.4.2 Geometrías

Para el estudio del comportamiento de diversos fluidos se requiere de la utilización de las geometrías, por ejemplo si requerimos medir la viscosidad de ciertos materiales se utiliza la geometría cono y plato, que por lo general se utiliza para líquidos, placas paralelas la cual es utilizada para geles, o la de cilindros concéntricos (Martínez Peñalosa, 2013), ver Figura 2.

- a) Placas paralelas: ajuste de la distancia entre placa, las mezclas pueden contener partículas gruesas.
- b) Cono y plato: por lo general de 4° , para una mejor medición evitando que se desborde se utiliza la de 3° , siempre y cuando el diámetro de las partículas sea menor de $10\ \mu\text{m}$.
- c) Cilindros concéntricos: utilizando generalmente para la medición de curvas de flujo, deformación y de esfuerzo. Muestras viscosas o muy poco viscosas.

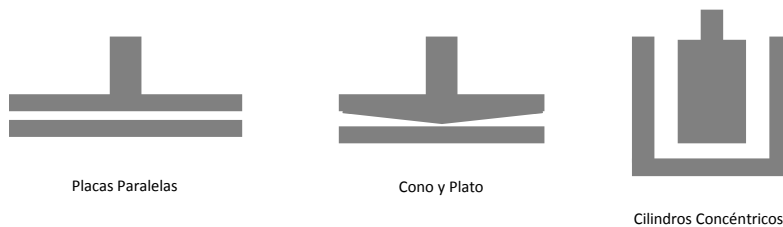


Figura 2. Tipos de geometría utilizadas para caracterización reológica de fluidos.

2.4.3 Comportamiento reológico de biopolímeros

Los biopolímeros son utilizados ampliamente en la industria alimentaria, farmacéutica, cosmética etc. con el fin de brindar protección a diversos tipos de compuestos (Chen, Remondetto, & Subirade, 2006; Niebla, 2009) y mejorando sus propiedades y textura. Se clasifican de acuerdo a su origen en naturales y sintéticos. Los naturales provienen de cuatro fuentes (Phillips & Williams, 2000):

- a) Animal: colágeno/gelatina
- b) Marino: algas/quitosano
- c) Vegetal: lípidos, hidrocoloides, proteínas y polisacáridos
- d) Microbiano: ácido poli láctico y polihidoxialcanatos

Los biopolímeros son capaces de formar encapsulaciones sencillas y múltiples, basándose principalmente en las características de sus componentes como en la compatibilidad que puedan tener cada uno de ellos, así logrando una buena interacción y puedan ser capaces de formar más de una capa (García-Ceja & López Malo, 2012). Para que se pueda formar una interacción entre dos materiales se necesita tener uno que posea una carga negativa como por ejemplo las gomas arábica, gellana, pectina o algún otro biopolímero para que sea mezclado con otro biopolímero de carga positiva como puede ser la gelatina la cual posee carga positiva ajustando el pH por debajo de su punto isoeléctrico (Saravanan & Rao, 2010).

2.4.4 Pruebas Oscilatorias

Los modelos mecánicos dinámicos u oscilatorios caracterizan el comportamiento reológico de un material mediante pruebas en las cuales se aplica una pequeña cantidad de esfuerzo o deformación sinusoidal, midiendo el esfuerzo resultante,

siendo estas de tensión, compresión o corte. Las deformaciones que generalmente se utilizan están en el orden del 1 al 3 %, asegurando así la respuesta del material de forma lineal, lográndose una proporción entre el esfuerzo y la deformación (Gunasekaran & Ak, 2000). Mediante estos modelos se logra la caracterización de las propiedades viscosas y elásticas de un material. Los resultados que arrojan estas pruebas son muy sensibles en cuanto a la composición química y estructura física de determinado material, resultando de gran utilidad en diversas aplicaciones como (Steffe, 1992):

- a) Evaluar la resistencia de un gel
- b) Seguimiento de la gelatinización del almidón
- c) Pruebas de vida útil

Las pruebas consisten en la deformación del material a ser analizado en un reómetro de deformación controlada, o de esfuerzo, también en equipo controlado, realizando variaciones respecto al tiempo (Schramm & Gebrueder, 1994; Steffe, 1992). Existen dos variables que podemos obtener mediante estas pruebas, las cuales son G' que es el módulo de almacenamiento o elástico, y G'' siendo este el módulo de pérdida o viscoso. El módulo de almacenamiento G' tiene relación entre el esfuerzo y la deformación aplicada y por lo tanto con la energía que se mantiene almacenada y se puede recuperar, siendo por esto una medida de elasticidad. En el módulo G'' indica la parte desfasada del esfuerzo $\frac{\pi}{2}$ radianes respecto a la deformación, disipando la energía, siendo una medida de viscosidad del material. Como resultado de la suma de estos dos módulos (G' y G'') se obtiene G^* el cual es denominado módulo complejo o dinámico, el cual representa la resistencia total del material a ser deformado cuando ha sido considerado un sólido elástico.

2.5 Estudios realizados

Un estudio realizado fue la elaboración de biopelículas a base de gelatina y carboximetilcelulosa CMC como recubrimiento en guayabas, los cuales arrojaron reducción en los signos de pos cosecha, mejor firmeza en los frutos, disminución de pérdida de peso, alargamiento de vida de anaquel, y se demostró que al adicionar glicerol y modificar el pH se modificaron sus propiedades mecánicas y se favoreció la solubilidad en agua de las películas (Aguilar Mendez et al., 2011).

Otra mezcla que se analizó fue la de gelatina-goma para encapsulación de vitamina A así como la efectividad que tiene mediante el secado por aspersion en mezclas de gelatina-goma de durazno y gelatina-goma de melocotón, mostrando que la mejor de las mezclas fue la realizada de gelatina-goma de melocotón, obteniéndose una retención de vitamina del 97.4% en comparación con la otra mezcla que fue de 94.7% (Xie et al. 2006).

Comentario [G1]: analizó

También se han realizado mezclas de gelatina-azúcar e inulina-harina, para encapsular aceite esencial de orégano mediante el método de aspersion y liofilización, obteniéndose que la mezcla de gelatina-azúcar presentó una alta actividad antioxidante y antimicrobiana durante 2 meses utilizando el método de liofilización (Da Costa et al., 2011). Se ha reportado el uso de gelatina como recubrimiento de micro esferas de alginato para encapsular al pro biótico *Bifidobacterium Adolescentis 15703T*, para aumentar la supervivencia durante la simulación por el tracto intestinal, demostrando que favorece el recubrimiento, obteniéndose viabilidad y supervivencia en una población de $7.6 \cdot 10^6$ UFC/g con respecto a las perlas sin recubrimiento que fueron de $6.4 \cdot 10^7$ UFC/g (Annan, Borza, & Truelstrup, 2008).

Comentario [G2]: presentó

3 JUSTIFICACIÓN

Los fluidos representan una parte muy importante en diversas industrias, como la aceitera, cosmética, farmacéutica pero principalmente en la alimentaria, enfocándose en humanos principalmente, la mayor parte de lo que consumimos son productos líquidos o pastosos, por encima de los sólidos, siendo aún más importantes en la alimentación infantil (Alvarado, 1996). Mediante estudios reológicos podemos determinar el comportamiento de dichos fluidos, los cuales pueden ser puros o mezclados con otros (dependiendo de las características que se requiera aportar a determinado producto), dando como resultado información valiosa la cual podrá determinar qué tan conveniente es que se mezclen o no diferentes fluidos en determinados procesos. Mediante el presente trabajo se busca obtener el comportamiento reológico en forma individual del biopolímero de chíá (*Salvia hispánica L.*) y grenetina, así como mezclados, las pruebas reológicas pueden indicar en forma indirecta la presencia de interacciones moleculares positivas o negativas. Cuando se mezclan biopolímeros para elaborar películas biodegradables, usualmente se busca la interacción molecular de los biopolímeros para obtener mejores propiedades mecánicas y de barrera a los gases. Identificar la existencia de interacciones moleculares en disoluciones acuosas de biopolímeros permitirá seleccionar disoluciones con potencial para ser evaluados como disoluciones filmo génicas (formadoras de películas).

4 Objetivos

4.1 Objetivo general

Realizar pruebas reológicas en disoluciones de biopolímero gelatina-chía (*Salvia hispánica L.*) usando pruebas de baja deformación para determinar la presencia de interacciones moleculares a través del análisis de los módulos elástico y viscosos.

4.2 Objetivos específicos

- a) Determinar la zona visco elástica lineal en disoluciones de gelatina, biopolímero de chía y mezclas de gelatina-biopolímero de chía usando barridos de deformación en el intervalo de 0.1 a 5% de deformación.
- b) Realizar barridos de temperatura en la región viscoelástica lineal de disoluciones acuosas de gelatina y biopolímero de chía en el intervalo de concentraciones de 1% usando un reómetro de esfuerzo de corte para caracterizar las disoluciones en funciones de su comportamiento visco elástico lineal.
- c) Realizar barridos de temperatura de las mezclas de biopolímero (gelatina-chía) en el intervalo de concentración de 1% y teniendo una relación de biopolímeros (gelatina: chía) 0, 0.25, 0.5, 1; usando un reómetro de esfuerzo de corte para determinar la presencia de interacciones moleculares en función del análisis de los módulos elástico y viscoso.

5 HIPÓTESIS

Debido a que el biopolímero de chía y gelatina son poli electrólitos es posible que se presenten interacciones moleculares entre las cargas de los polímeros, adicionalmente la concentración crítica (C^*) de los biopolímeros se encuentra en el orden de 0.01%, las concentraciones de los biopolímeros estudiados se encuentran por arriba de C^* por lo que existe posibilidad de interacción molecular del tipo físico llamada interpenetración. En la mezcla de biopolímero de chía-gelatina la interacción molecular se puede determinar a través de mediciones reológicas (módulo elástico y viscoso), la interacción molecular se podría presentar si el módulo elástico de la mezcla es superior al presente los componentes individuales

CAPITULO III

6 MATERIALES Y METODOS

6.1 Materia prima

6.1.1 Semilla de chía

Se utilizó semilla de chía comercial marca Chiamia, Chiapoxtli S.P.R adquirida en la Cd. de Cuernavaca, Morelos.

6.1.2 Gelatina

Se utilizó grenetina de 200 Bloom de la marcha Duche, sin ningún tratamiento adicional.

6.2 Proceso de obtención biopolímero de chía

Se utilizó la metodología reportada por Rodríguez Cruz (2014), como se describe a continuación: Las semillas de chía se hidrataron en una relación chía: agua de 1:10, dejándose reposar por tres horas. Las semillas hidratadas se colocaron en las charolas para ser liofilizadas (Virtis), bajo las siguientes condiciones: la primera etapa consiste en una congelación que se realizó a - 50 °C, esta etapa duró 4 horas, la segunda etapa consta de vacío y suministro de calor para sublimar el agua, el calentamiento fue suministrado a través de la circulación de aceite de silicón por una placa y el suministro de pequeñas cantidades de aire del medio ambiente, durando aproximadamente 20 horas. El objetivo de hidratar las semillas y posteriormente eliminar el agua usando liofilización es para expandir el biopolímero, que aún sigue unido a la semilla. Posterior a la liofilización las semillas de chía se frotaron en un tamiz de malla 40 para separar el biopolímero

de las semillas. El biopolímero que se obtiene es guardado en un recipiente para uso posterior.

6.3 Determinación de humedad

Se determinó la humedad de acuerdo al método 14.004 AOAC (AOAC, 1980). Se pesaron 2 g del material en una capsula de aluminio, previamente a peso constante, se colocó en la estufa por 24hr a 100°C, ya que paso el tiempo requerido, se mantuvo en desecador por 15min, calculándose el porcentaje de humedad mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(\text{peso inicial} - \text{peso final})}{\text{peso final}} * 100$$

Dónde:

Peso inicial, es igual al peso de la charola más muestra

Peso de la charola más muestra seca

6.4 Determinación de proteína método Lowry

Mediante este método se realiza la valoración cuantitativa de las proteínas combinando dos tipos de reacciones , las cuales son la reacción de Biuret, y la reacción del reactivo Folin Cicocalteau, mediante lo cual se produce la oxidación de los aminoácidos como triptófano, tirosina, cistina presentes en las proteínas (Lowry, Rosebrough, Farr, & Randall, 1951).

Reactivos:

Reactivo A: Carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 2% en hidróxido de sodio al 0.1N.

Reactivo B: solución 0.5% de sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) en 1% de tartrato de sodio potasio.

Reactivo C: 50ml de solución A más 1ml de solución B descartando después de 1 día.

Reactivo D: parte de reactivo Folin Cicocalteau más una parte de agua.

Procedimiento:

Se toma 1ml de la muestra a ser analizada previamente diluida, se le colocan 3ml del reactivo C, se deja reposar por 10 min a temperatura ambiente, transcurrido el tiempo se adicionan 0.3ml del reactivo D y se agita, se deja reposar por 30 min, posteriormente se lee la absorbancia a 750nm con respecto a un blanco preparado con agua en lugar de la muestra a ser analizada.

La concentración de la proteína se calcula a partir de una curva patrón preparada con albúmina bovina en concentraciones de 50 a 400 $\mu\text{g}/\text{ml}$ (ver anexo 1)

6.5 Determinación de carbohidratos totales método Dubois

Mediante el método fenol-sulfúrico, los carbohidratos se descomponen en presencia de ácidos fuertes, los cuales se descomponen y producen en compuestos de furfural o relacionados, estos compuestos en presencia de fenol reaccionan dando como resultado compuestos coloridos estables de hasta aproximadamente 4hr (Dubois, Gilles, Hamilton, Rebers, & Smith, 1956).

Procedimiento:

Se coloca 1ml de la solución a ser analizada en un tubo de ensaye, se adiciona 0.5ml de fenol al 5% y 2.5 ml de ácido sulfúrico, se deja reposar por unos minutos, posteriormente se lee absorbancia a 480nm. La curva estándar se construyó utilizando glucosa en un intervalo de 0 a 100 $\mu\text{g}/\text{ml}$ (ver anexo 2).

6.6 Análisis reológico

Todas las pruebas reológicas que se describirán se realizaron por duplicado en un reómetro TA Instruments AR 1000, utilizándose geometría de 60 mm estriada, con un espesor (GAP) de 1000 μ . Las pruebas realizadas se describen a continuación.

6.6.1 Barridos de deformación

Se realizaron barridos de deformación a 20°, 25°, 40°, 60° y 80° C a concentraciones de 0.1% y 1%, evaluándose la deformación con respecto al esfuerzo, así como los módulos elástico (G') y viscoso (G''). El barrido de deformación se realizó en el intervalo de deformación de 0.1 a 4% con una frecuencia de 1 Hz, utilizando un sistema peltier para el control de la temperatura. La determinación de la región visco elástica lineal se determinó en el intervalo de deformaciones donde los módulos elástico y viscoso son constantes.

6.6.2 Barridos de temperatura

Los barridos de temperatura se realizaron en la región visco elástica lineal, usando una frecuencia de 1 Hz. Los barridos de temperatura se realizaron en el intervalo de temperatura de 5 °C-50 °C – 5 °C usando una velocidad de calentamiento (enfriamiento) 3 °C/min.

6.6.3 Concentraciones de biopolímero empleados

Las concentraciones de biopolímero (chía y gelatina) empleados fueron 0.5 y 1% y en presencia de iones 0, 5, 10, 50 mM de Na⁺. Las mezclas de biopolímeros tuvieron una concentración del 1% y una relación gelatina/Biopolímero de chia de 75:25, 50:50 y 25:75 (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Mezcla de Gelatina: Chía a una concentración total de biopolímeros de 1% y tres relaciones de gelatina: chía.

Gelatina	10	75	50	25	0
Chía	0	25	50	75	100

CAPITULO IV

7 RESULTADOS

7.1 Análisis de materia prima

La parte de caracterización del biopolímero de chía y la grenetina se realizó solo en función de la humedad y la pureza. El biopolímero de chía se obtuvo un contenido de humedad de 5% y una pureza de del 95% en base al contenido de carbohidratos totales, estos valores son similares a los reportados previamente por (Rodríguez Cruz, 2014). La grenetina reportó un contenido de humedad del 8% y una pureza del 80% en función al contenido de proteína, la pureza es similar a la reportada en la información nutrimental de la etiqueta del producto.

7.2 Análisis reológico

7.2.1 Región visco elástica lineal

Las Figuras 3, 4 y 5 muestran barridos de deformación para el biopolímero de chía en el intervalo de concentraciones del 0.5 al 1%, en el intervalo de temperatura del 25 a 60 °C. En la Figura 5, los módulos G' y G'' son constantes en el intervalo de deformaciones del 1 al 4%, con la disminución en la concentración (0.7%) el intervalo de deformación donde los módulos G' y G'' se mantiene constante es similar que para la concentración del biopolímero del 1%. En la Figura 3, se observa que existe una región estrecha de deformación donde los módulos G' y G'' se mantienen constante. La región común donde en las Figuras 3, 4 y 5 donde G' y G'' se mantiene constante, región visco elástica lineal, se encuentra en el intervalo de deformación del 3 al 5%.

Los barridos de deformación para la gelatina tuvo un comportamiento similar al reportado para el biopolímero de chía y la región visco elástica se encuentra en el mismo intervalo también.

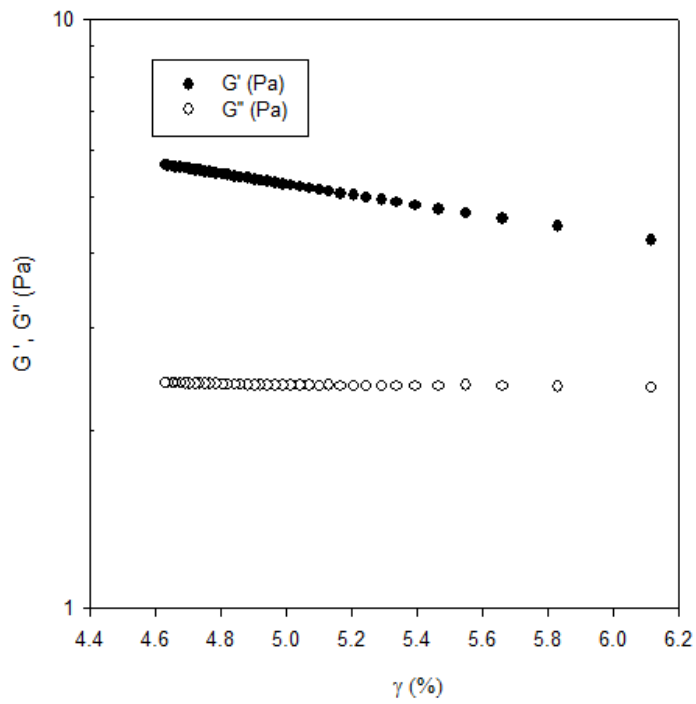


Figura 3. Barrido de deformación del biopolímero de chía 0.5% a 40 °C

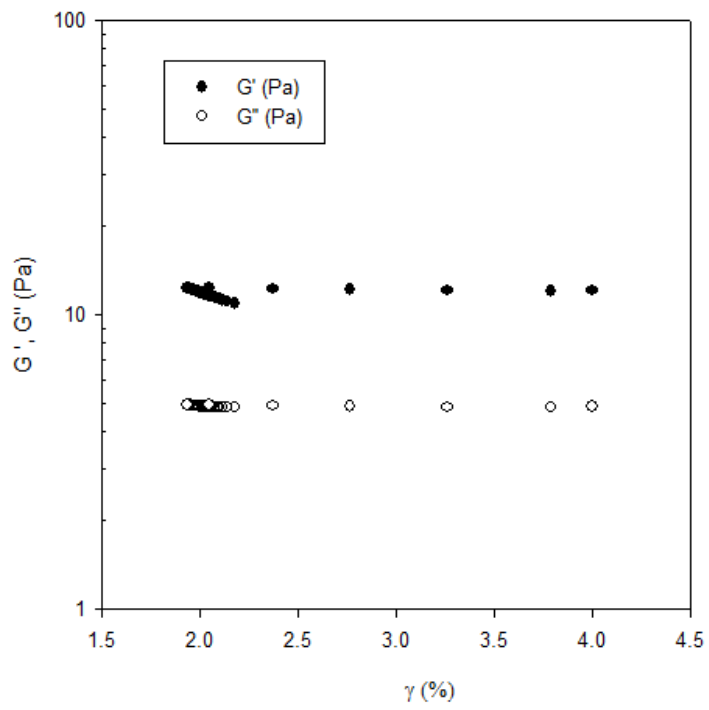


Figura 4. Barrido de deformación del biopolímero de chía 0.7 % y 25 °C.

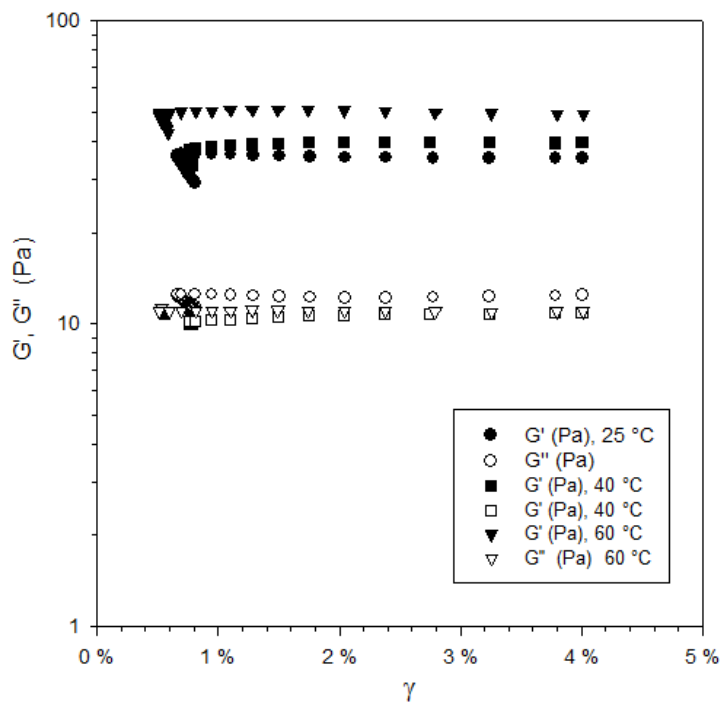


Figura 5. Barrido de deformación del biopolímero de chía al 1%, en el intervalo de temperatura de 25 a 60 °C.

7.2.2 Barridos de temperatura

7.2.2.1 Biopolímero de chía y gelatina

Las Figuras 6 y 7, representan los barridos de temperatura para el biopolímero de chía y la gelatina en calentamiento y enfriamiento a una concentración de 1%. La Figura 6, muestra que los valores de G' son mayores que el módulo G'' , este comportamiento se muestra en todo el intervalo de temperatura analizado, es decir, no se observa transición ($G'=G''$). Los valores de los módulos en calentamiento y enfriamiento muestran valores similares y G' tienen valores máximos de 30 Pa.

La Figura 7, muestra el comportamiento del barrido de temperatura para la gelatina a una concentración de 1%. Durante el calentamiento se observa que $G' > G''$, característico de un gel, existe una transición ($G'=G''$) a una temperatura de 25 °C. Al inicio del enfriamiento (50 °C), $G'' > G'$ pero se presenta una transición ($G'=G''$) a una temperatura de 10 °C, en el intervalo de 5 a 10 °C $G' > G''$, es decir la gelatina se comporta como un gel. Además se presenta una histéresis térmica debido a que la transición sol-gel ocurre a 10 °C y la transición gel-sol ocurre a 25 °C. En algunos biopolímeros la histéresis térmica se ha asociado a la formación de una microestructura (Flores-Huicochea, Rodríguez-Hernández, Espinosa-Solares, & Tecante, 2013).

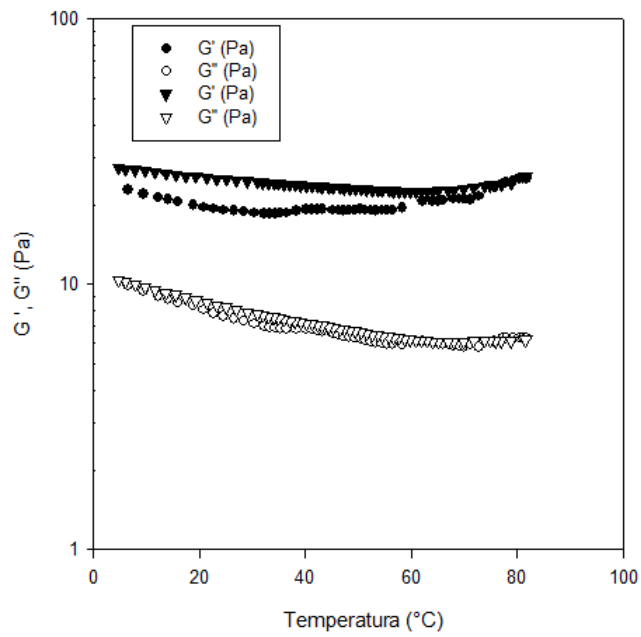


Figura 6. Barrido de temperatura para el biopolímero de chía a una concentración de 1%. Los círculos representan el calentamiento y los triángulos para enfriamiento.

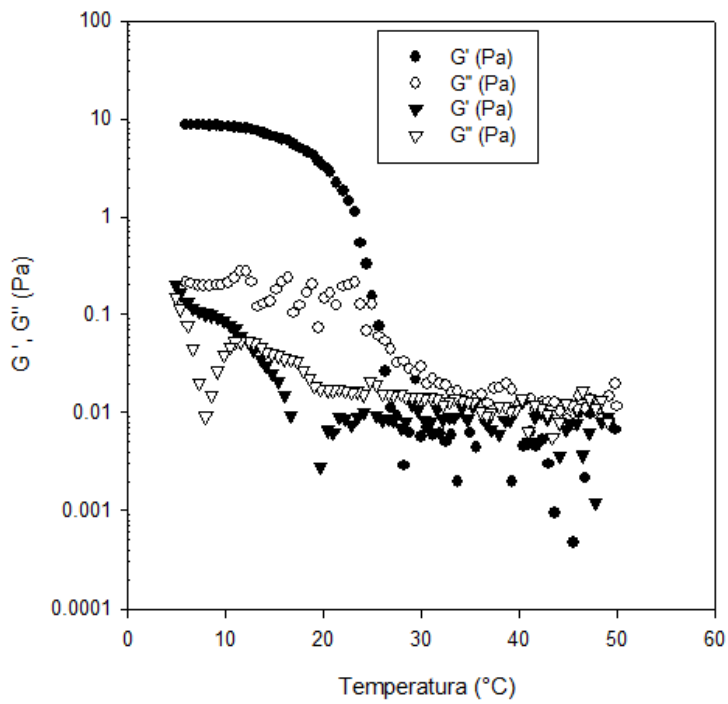


Figura 7. Barrido de temperatura de gelatina a una concentración de 1%. Los círculos representan el calentamiento y los triángulos para enfriamiento.

7.2.2.2 Biopolímero chíá/Gelatina

Las Figuras 8 a 19, muestran los barridos de temperatura de las mezclas de grenetina: biopolímero con una concentración total de biopolímero de 1% y con relación grenetina como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Relación de biopolímeros a una concentración total del 1 %.

Relación de biopolímeros grenetina: biopolímero chíá					
	100:0	75:25	50:50	25:75	0:100
	1	2	3	4	5
Grenetina	√	√	√	√	
Biopolímero chíá		√	√	√	

Las Figuras 6 y 7, analizadas previamente muestran el comportamiento de los componentes puros de chíá y grenetina a una concentración del 1%, corresponden a la relación 100:0 (grenetina) y 0:100 (biopolímero de chíá). El barrido de temperatura de chíá (Figura 6) mostro valores de 30 Pa de G' en el intervalo de temperaturas analizados, los valores de G' para grenetina, relación 100:0, mostraron valores máximos de 10 Pa. Las Figuras 8 a 11, muestran el efecto del incremento de iones sodio, en el intervalo de 0 a 50 mM, con una relación de biopolímeros de 75:25 que corresponde a la mezcla 2, ver Tabla 2. La mezcla 2, en ausencia de iones durante el enfriamiento muestra un comportamiento similar para G'', sin embargo para G' muestra valores mayores en la etapa de enfriamiento, que podría ser debido a la formación de una microestructura de la grenetina, la grenetina tiene una transición en el enfriamiento a una temperatura de 10 °C (Ver Figura 7). Los valores máximos de G', son aproximadamente de 0.7 Pa, estos valores son inferiores a los que presenta la gelatina en ausencia del biopolímero de chíá, en este caso se presenta una

interacción negativa debido a que presenta valores de G' por debajo del intervalo de 1 a 30 Pa, los cuales representan los límites para los componentes puros gelatina y biopolímero de chí. La Figura 9, representa la mezcla 2 en presencia de 5 mM Na^+ , se observa que los valores de $G' > G''$ y hay un incremento en los valores de G' respecto a la mezcla 2 con 0 mM Na^+ , Figura 8, teniendo valores máximos de aproximadamente 1.5 Pa. El incremento en el contenido de iones (10 mM Na^+) tiene un efecto negativo en los valores de G' teniendo valores máximos de 0.65 Pa. Valores de 50 mM Na^+ proporcionan valores máximos de 6 Pa al inicio del proceso de calentamiento, pero al final del enfriamiento se tienen valores máximos de 1 Pa (Figura 11).

Las Figuras 12 a 15, muestran el efecto del incremento de iones Na^+ en la mezcla 3, ver Tabla 2. La mezcla 3, en ausencia de iones sodio tiene un comportamiento similar a la mezcla 2 con 50 mM Na^+ , es decir, los valores de G' al inicio del calentamiento posee valores de 25 Pa, pero al final del enfriamiento los valores G' tuvo valores de 9 Pa. La mezcla 3, con 5 mM Na^+ , muestra una disminución en los valores de G' (6.0 Pa). El incremento en la concentración de Na^+ de 10 al 50 mM, muestra una disminución en los valores de G' hasta 4 Pa

Las Figuras 16 a 19, muestra el efecto del incremento de iones Na^+ en la mezcla 4, muestran una tendencia similar a las mezclas 2 y 3 con el incremento de iones sodios, es decir, una disminución en los valores de G' de 15 a 12 Pa.

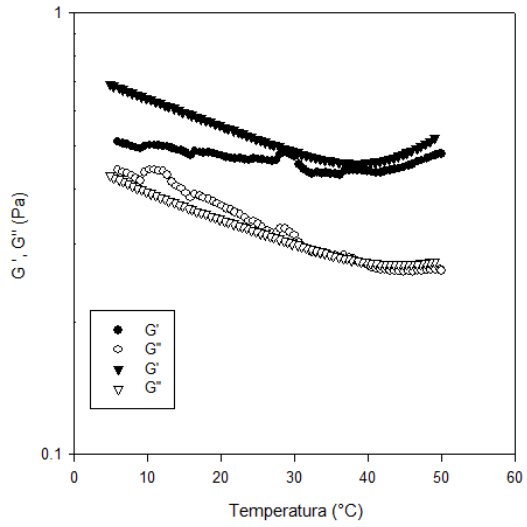


Figura 8. Barrido de temperatura mezcla gelatina: chíá (75:25), concentración total de biopolímeros 1%, 0 mM Na⁺.

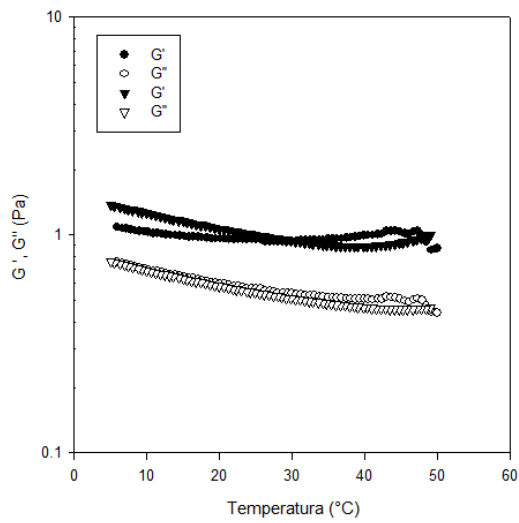


Figura 9. Barrido de temperatura mezcla gelatina: chíá (75:25), concentración total de biopolímeros 1%, 5 mM Na⁺.

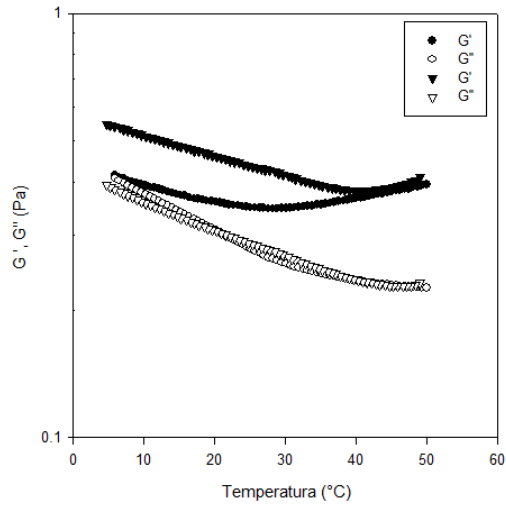


Figura 10. Barrido de temperatura mezcla gelatina: chíá (75:25), concentración total de biopolímeros 1%, 10 mM Na⁺.

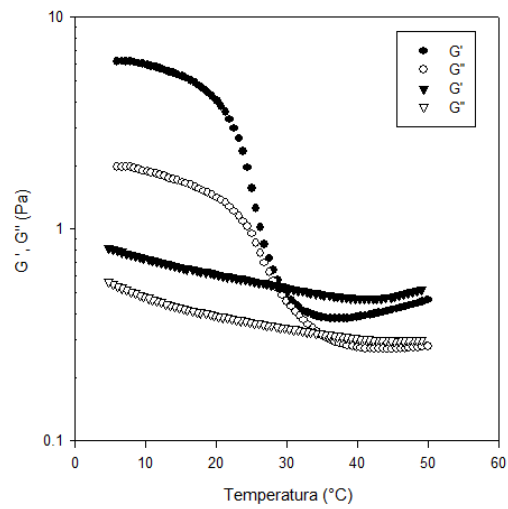


Figura 11. Barrido de temperatura mezcla gelatina: chíá (75:25), concentración total de biopolímeros 1%, 50 mM Na⁺.

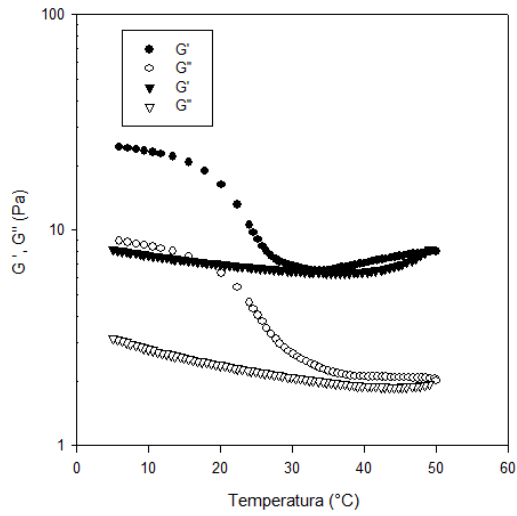


Figura 12. Barrido de temperatura mezcla gelatina: chíá (50:50), concentración total de biopolímeros 1%, 0 mM Na⁺.

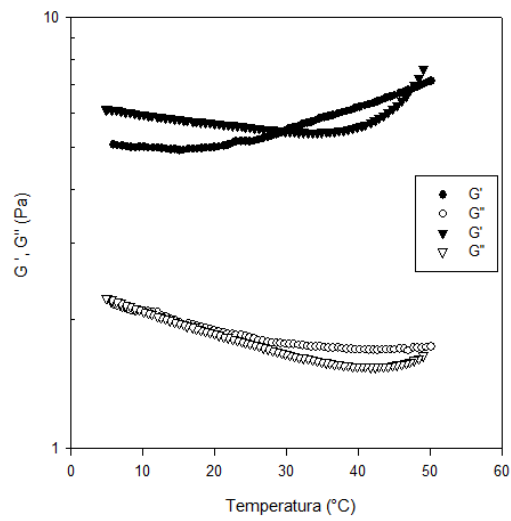


Figura 13. Barrido de temperatura mezcla gelatina: chíá (50:50), concentración total de biopolímeros 1%, 5 mM Na⁺.

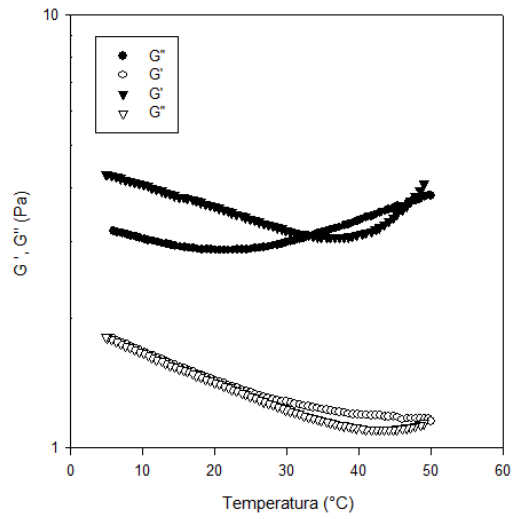


Figura 14. Barrido de temperatura mezcla gelatina: chíá (50:50), concentración total de biopolímeros 1%, 10 mM Na⁺.

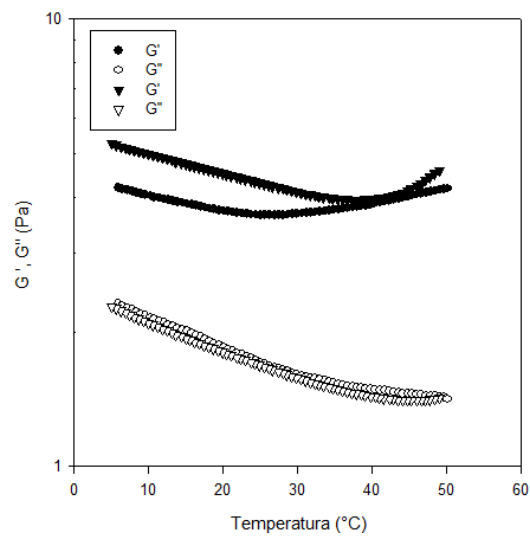


Figura 15. Barrido de temperatura mezcla gelatina: chíá (50:50), concentración total de biopolímeros 1%, 50 mM Na⁺.

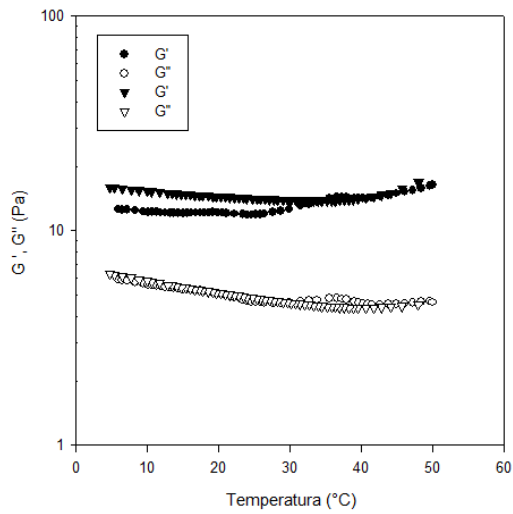


Figura 16. Barrido de temperatura mezcla gelatina: chíá (25:75), concentración total de biopolímeros 1%, 0 mM Na^+ .

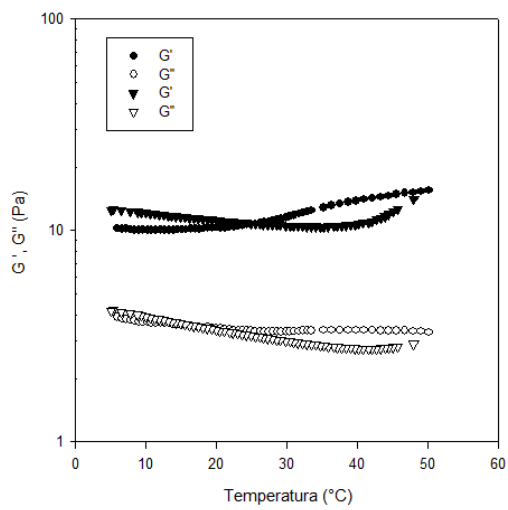


Figura 17. . Barrido de temperatura mezcla gelatina: chíá (25:75), concentración total de biopolímeros 1%, 5 mM Na^+ .

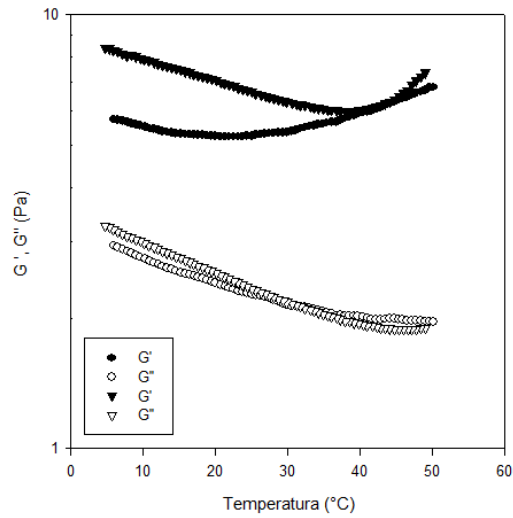


Figura 18. Barrido de temperatura mezcla gelatina: chíá (25:75), concentración total de biopolímeros 1%, 10 mM Na^+ .

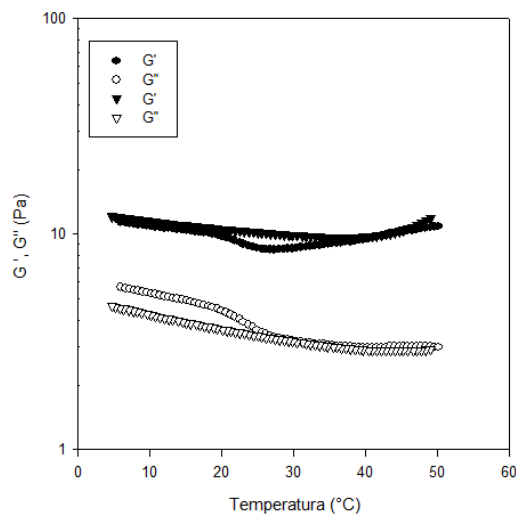


Figura 19. . Barrido de temperatura mezcla gelatina: chíá (25:75), concentración total de biopolímeros 1%, 50 mM Na^+ .

8 DISCUSIÓN

Los barridos de temperatura de las mezclas 2,3 y 4 (ver Tabla 2) se observó que la $G' > G''$ en todo el intervalo de temperaturas analizado, en todos los casos se observa una dependencia de G' y G'' con la temperatura, este comportamiento es característico de los biopolímeros (Nishinari, 2000). En este caso los dos biopolímeros son poli electrólitos, debido a grupos funcionales con carga a lo largo de la cadena principal del biopolímero (Lin, Daniel, & Whistler, 1994), la adición de contra iones, en este caso Na^+ , puede modular el volumen molecular al neutralizar las cargas de los grupos funcionales que la presenten, pudiendo provocar la interacción molecular. La Tabla 3, muestra los valores máximos de G' , asociada al carácter elástico, asociado al carácter sólido de los compuestos visco elásticos. En este caso solo se trabajó con la concentración del 1%, debido a que inicialmente se pensó que podría existir mayor probabilidad de interacción molecular debido a que la concentración crítica (C^*) de muchos biopolímeros se encuentra en el intervalo de 0.05 a 1% (Flores Huicochea, 2013; Flores-Huicochea et al., 2013). La C^* es la concentración donde se presenta interpenetración de las moléculas de biopolímero y por lo menos se presenta interacción de tipo físico.

Tabla 3. Valores máximos de G' de la mezcla de biopolímeros (gelatina: chía) a una concentración total de 1%.

Gelatina	Valores de G' Pa					Biopolímero chía
	100:0	75:25	50:50	25:75	0:100	
0 mM Na^+	0.2 -10	0.5-0.7	9-25	15-19	30	
5 mM Na^+		0.5	5-7	10-11		
10 mM Na^+		0.4-0.6	4.5-5.5	7-9		
50 mM Na^+		0.9 a 7	5.5-6.5	11		

Al analizar la Tabla 3, la relación 100:0 (gelatina) y 0:100 (chía), los componentes puros de las mezclas nos permite determinar los límites de G' . Las mezclas 2,3 y 4 en ausencia de iones (Tabla 2) muestran un incremento en G' al incrementar la relación de biopolímero de chía pero sin rebasar el límite de 30 Pa para G' , chía pura, esta transición es la que cabría de esperar de una mezcla en la que no hay interacción molecular. Este mismo comportamiento se observa en las mezclas 2, 3 y 4 al incrementar el contenido de sodio de 0 a 50 mM, usualmente las mezclas no presentan cambios con el incremento de 10 a 50 mM Na^+ , la disminución en la G'

con el incremento de Na^+ se debe a que las moléculas tienen a colapsarse en forma esférica y disminuyendo el nivel de interacción en forma significativa.

9 CONCLUSIÓN

1. Los valores de G' más grandes se obtuvieron en la disolución del 1% con valores del 30 Pa.
2. El incremento de la relación de biopolímero de chía de 25:75 a 75:25 incrementa los valores de G' .
3. A cualquier relación de gnetina: biopolímero de chía el incremento en la concentración de iones Na^+ disminuye los valores de G' .
4. En el intervalo de iones Na^+ de 10 a 50 mM, no muestra disminución en los niveles de G' .
5. La relación 50:50 sin iones mostro los mayores valores de G' con valores de 25 Pa.
6. Los niveles de sodio usados 5-50 mM parecen que son altos lo que provoca un colapso de las moléculas impidiendo la interacción molecular.
7. En las mezclas de biopolímeros usados (mezcla 2, 3 y 4) no se presentaron interacciones moleculares.

10 Bibliografía

- Aguilar Mendez, M. A., San-Martin Martinez, E., Espinoza Herrera, N. L., Sanchez Flores, M., Cruz-Orea, A., & Ramírez Ortiz, M. E. (2011). Caracterización y aplicación de películas a base de carboximetil celulosa para la preservación de frutos de guayaba. *Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales; Superficies y Vacío*, 25.
- Alabdulkarim, B., & Bakeet, Z. (2012). Role of Some Functional Lipids in Preventing Diseases and Promoting. *Science*, 12.
- Albella, J., Cintas, A., Miranda, T., & Serratos, J. (1993). *Introducción a la Ciencia de los Materiales*. España: CSIC.
- Aldana, A. S., Sandoval, E. R., & Quintero, A. F. (1998). Aplicación del Análisis por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) para la caracterización de las Modificaciones del Almidón. *SciELO*, 72.
- Alvarado, J. d. (1996). *Principios de Ingeniería Aplicados a Alimentos*. Quito Ecuador: Radio Comunicaciones.
- Annan, N. T., Borza, A. D., & Truelstrup, H. (2008). Encapsulation in alginate-coated gelatin microspheres improves survival of the probiotic bifidobacterium adolescentis 15703T during exposure to simulate gastro-intestinal conditions. *Food Research International*, 184-193.
- Ara, H. D. (2000). *The science and practice of pharmacy*. New York: Remington.
- Atkins, P., & De Paula, J. (2007). *Química Física*. Buenos Aires: Médica Panamericana S. A.
- Ayers, R., & Coates, W. (2006). *Chia*. Buenos Aires: The Arizona Board of Regents.
- Ayerza, R. (2006). *Chia*. Argentina: The Arizona Board of Regents.
- Boran, G., Mulvaney, S. J., & Regenstein, J. (2010). Rheological Properties of Gelatin From Silver Carp Skin Compared to Commercially Available Gelatins From Different Sources. *Food science*, 565-571.
- Burke, C. J., Hsu, T. A., & Volkin, D. B. (1999). Formulation stability and delivery of live attenuated vaccines for human use. *Critical Reviews in Therapeutic Drug Carrier Systems*, 1-83.
- Cadenas Bergua, E. (1977). *La vida, una química programada*. Oviedo España: Graficas Summa S. A.

- Carranza, M. Z. (1998). *Termo1: un Estudio de los Sistemas Termodinamicos*. Sevilla: EGONDI Artes Graficas.
- Cervantes, M. L. (2012). *Diseño y Síntesis de Materiales a Medida Mediante el Metodo SOL-GEL*. Madrid España.: UNED.
- Chen, L., Remondetto, G. E., & Subirade, M. (2006). Food protein based materials as nutraceutical delivery systems . *Trends in food science and technology*, 272-283.
- Costa, J. (2005). *Diccionario Fisica Quimica*. España: Diaz de Santos Ediciones.
- Da Costa, S. B., Duarte, C., Burbon, A. I., Pinheiro, A. C., Serra, T, A., y otros. (2011). Effect of the matrix system in the delivery and in vitro bioactivity of microencapsulated oregano essential oil. *Food Engineering*, 7.
- De Hombre Morgado, R. (2002). Reología y textura de los alimentos dirigido a la industria del chocolate. *Centro de documentacion e informacion científico-técnico*, 6.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., & Smith, F. (1956). *Colorimetric method for determinatin of sugars and related sustances*. Minnesota : University of Minnesota.
- Ferrer, J. F., & Carrera, M. P. (1981). *Iniciacion a la Fisica*. Barcelona España.: Reverte, S.A.
- Fisher, P., & Windhab, E. (2010). Rheology of Food Materials. *Elsevier*, 36-40.
- García Garibay, M., Quintero Ramírez, R., & López-Munguía Canales, A. (1993). *Bioteconología Alimentaria*. México D. F.: Limusa S.A. de C.V.
- García-Ceja, A., & López Malo, A. (2012). Biopolimeros utilizados en la encapsulación. *Fundacion Universidad de las Américas*, 12.
- Garibay, M. G., Ramirez, R. Q., & Agustin, L. M. (1993). *Bioteconologia Alimentaria*. Mexico: Limusa.
- Garibay, M. G., Ramirez, R. Q., & Cortez, A. L. (1993). *Bioteconologia Alimentaria*. Mexico DF: Limusa.
- Gomez, S. R. (2009). *Analisis Instrumental*. España: Netbjblo.
- Gomez-Guillen M C; Turnay J; Fernandez-Díaz M D; Ulmo N; Lizarbe M A; Montero P. (2002). *Elsevier*, 25-34.

- Gomez-Guillen, M. C., Giménez, B., López Caballero, M. E., & Montero, M. P. (2011). Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. *Food hydrocolloids*, 1813-1827.
- Gordon, M. H. (1973). *Cinetica Quimica*. San Magin Barcelona: Barcelona.
- Gunasekaran, S., & Ak, M. M. (2000). Dynamic oscillatory shear testing of foods-selected applications. *Food Science and Technology*, 115-127.
- Hernandez, A., F.Tejerina, Arribas, J., Martinez, L., & Martinez, F. (1990). *Microfiltracion, Ultrafiltracion y Osmosis Inversa*. Madrid España: LERKO Print, S.A.
- Hernandez, L. M. (2012). *MUCILAGE FROM CHIA SEEDS (Salvia hispánica): MICROESTRUCTURE, PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERIZATION AND APPLICATIONS IN FOOD INDUSTRY*. Chile: Univercidad Catolica.
- Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L., & Randall, R. J. (1951). *Protein measurement whit the folin phenol reagent*. St. Louis Missouri: Departament of Pharmacology, Washington University School of Medicine.
- Martínez Peñaloza, D. (2013). propiedades viscoelasticas de gelatina de alto acilo libre de proteína endógena. *Tesis*, 55.
- Michell, J. S. (1996). *Problemas de Quimica*. New York: W.A. Benjamin, Inc.
- Miranda, F. (2012). *Tecnica para el Manejo de Cultivo de Chia (Salvia Ispanica L.* Nicaragua: SEBACO.
- Moreno Botella, R. (2005). *Reología de suspensiones cerámicas*. España: CSIC-CSIC Press.
- Navarrete, N. M., Grau, A. A., Boix, A. C., & Maupoey, P. F. (1998). *Termodinamica y Cinetica de Sistemas: Alimento Entorno*. Valencia España.: Publicaciones Valencia.
- Niebla, B. L. (2009). Evaluacion de encapsuamiento de compuestos de sabor en materiales de almidón. *Instituto Politecnico Nacional*, 97.
- Paula, A. D., & Paula, J. D. (2007). *Quimica Fisica*. Madrid España: Medica Panamericana, S.A.
- Phillips, G. O., & Williams, P. A. (2000). *Handbook of hydrocolloids*. England: Woodhead Publishing Limited.
- Picado, A. B., & Álvarez, M. (2000). *Introduccion al Estudio de la Materia*. Costa Rica: Universidad Estatal de San Jose.

- Quintáns Riveiro, L. C. (2008). Reología de Productos Alimentarios. *Escuela Técnica Superior de Ingeniería*, 150.
- R.Cruz-Morfin, Y.Martinez-Tenorio, & A.Lopez-Malo, V. (2013). *Biopolimeros y su integracion con polimeros convencionales como alternativas de empaques en alimentos*. Puebla: Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental Universidad de las Americas Puebla.
- Raimond, B. S., & Charles, E. C. (1995). *Introduccion a la Quimica de los Polimeros*. New York: Marcel Dekker Inc.
- Ramírez Navas, J. S. (2006). *Fundameentos de reología de alimentos*. Colombia: JSR-ebooks.
- Redondo, Y. P. (2007). *Simulacion de Montecarlo de Sistemas Complejos en Red*. Santiago de Compostela.: Universidad Santiago de Compostela.
- Rivas, B. M. (2006). *Electroscopia Dielectrica in Vitro* . Santiago de Compostela : Universidad Santiago de Compostela.
- Rodríguez Vallejo, J. (1992). *Historia de la agricultura y de la fitopatología, con referencia especial a México*. México: Colegio de Postgraduados en ciencias Agrícolas.
- Ruiz, S. G., Alonso, M. I., & Quintanilla, D. P. (2009). *Analisis Instrumental* . Oleiros España : Netbiblo.
- Saravanan, M., & Rao, K. P. (2010). Pectin-gelatin and alginate-gelatin complex coacervation for controlled drug delivery: Influence of anionic polysaccharides and drugs being encapsulated on physicochemical properties of microcapsules. *Carbohydrate Polymers*, 808--816.
- Schrieber, R., & Gareis, H. (2007). *Gelatine handbook*. Germany: WILEY-VCH.
- Shafuir, R. M., Ghalib, A.-s., Nejib, G., & Aminah, A. (2010). Development of state diagram of bovine gelatin by measuring thermal characteristics using differential scanning calorimetry (DSC) and cooling curve. *ELSEVIER*, 9.
- Steffe, J. F., D, P., & E, P. (1996). *Rheological methods in food process engineering*. USA: Freeman Press.
- Tieko, N. R., & Goncalves, L. A. (1999). DEtermination of Melting Point of Vegetable Oils and Fast by Differential Scanning Calorimetry (DSC) Technique. *CSIC*, 50.
- Vicent, B. M. (1994). *Calorimetry and Thermal Analysis of Polymers*. Viena New York: Hanser.

Vicente, B. T. (2000). *Tecnología Energetica*. Valencia España.: Reproval, S.L.

Watson, G. (1938). Nahuatl word in American English. *American Speech*, 108-121.

11 APÉNDICE

Curva estándar de proteína método Lowry.

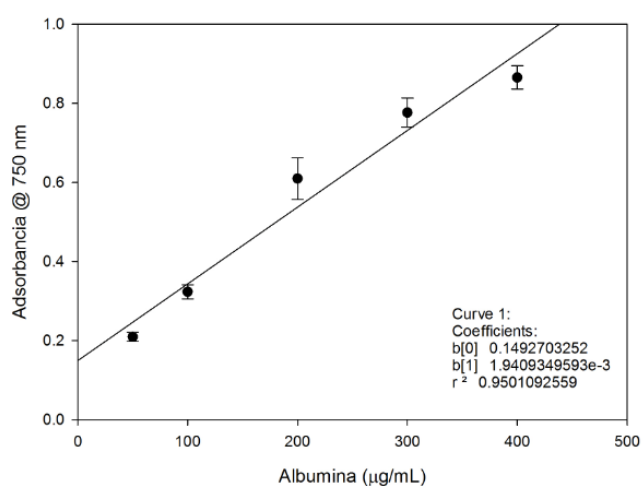


Figura 20. Curva estándar de proteína método de Lowry

Curva estándar de carbohidratos totales

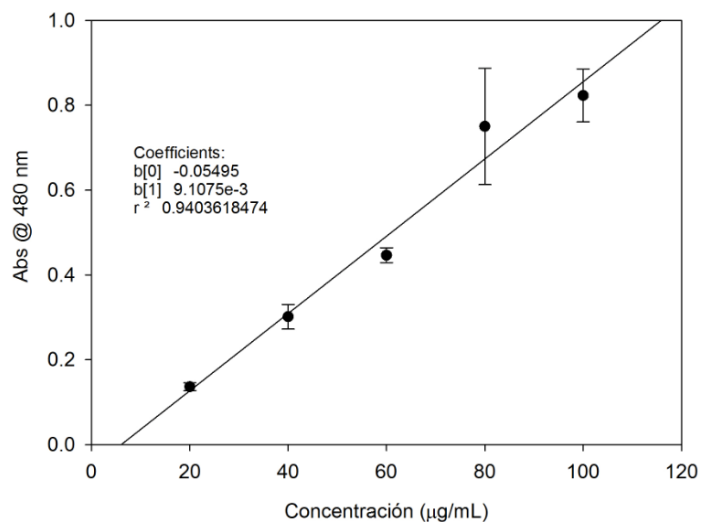


Figura 21. Curva estándar de glucosa método Dubois