

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL



Por:

Alejandra Elizabeth Aguilar Reynosa

TESIS

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Presentado como requisito parcial para

Obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

México, 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Agradecimientos

*A la **Universidad Autónoma Agraria** por haberme brindado además de una formación académica me brindo muchas otras oportunidades que transformaron mi vida y me llenaron de experiencias en fin puedo decir que me brindo mucho más de lo que esperaba.*

*A la **Dra. Ana Verónica Charles** por darme la oportunidad de realizar esta investigación, por su disponibilidad, su tiempo y sus consejos, espero que mi trabajo haya cumplido sus expectativas*

*A la **Dra. Dolores Gabriela Martínez Vásquez** por su apoyo y colaboración con esta investigación.*

*Al **ICTAN CSIC** y su personal por su asesoría y por haberme brindado la oportunidad de realizar esta investigación en sus instalaciones.*

*Al **Dr. Jesús Alonso Sánchez** por haberme recibido y darme la oportunidad de trabajar con Ud., además de haber estado al pendiente de mí durante toda mi estancia en España, y por su colaboración en esta investigación.*

*Al grupo **FAGRO (Biorganix)** en especial a la **M.C Argentina Orta** y al **M.C Humberto Sánchez**, por haberme brindado la oportunidad de formar parte de este proyecto y hacer posible mi estancia.*

*A **Oscar Bodelón** y **Fernando Díaz Benítez** por haber estado al pendiente de mí durante mi estancia en España, por compartir conmigo de su cultura y hacer de mi estancia algo muy bonito, y por haberme brindado su asesoría en el laboratorio.*

A **LCN. Mary y a T.Q.L Carlitos Arévalo** por haberme ayudado durante mis últimos semestres en el laboratorio a pesar de todo oficio o toda fila de espera para utilizar los aparatos o reactivos siempre fueron mis aliados para poder terminar mis trabajos.

A mis padres **Francisco AguilarHerrera y Marina Reynosa Briones** gracias por todo.

Estamos hechos de la misma materia que los sueños...

Y nuestra pequeña vida termina durmiendo

William Shakespeare

Si deseas que tus sueños se hagan realidad, ¡despierta!

Ambrose Bierce

INDICE

RESUMEN	1
CAPITULO I	2
INTRODUCCIÓN	2
1.1 Justificación.....	3
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo general	4
1.2.2 Objetivos específicos:.....	4
1.3 Hipótesis.....	5
CAPITULO II	6
2. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 Generalidades	6
2.2 Componentes de películas alimenticias	8
2.2.1 Hidrocoloides.....	9
2.2.1.1 Polisacáridos	9
2.2.1.2 Proteínas	10
2.2.3 Películas de lípidos	11
2.2.4 Aditivos.....	11
2.2.4.1 Plastificantes	12
2.2.4.2 Surfactantes y emulsificantes.....	12
2.2.4.3 Conservadores	13
2.3 Formación de la película	13
2.4 <i>Salvia hispánica</i>	15
2.4.1 Descripción botánica	17
2.4.2 Historia culinaria.....	17
2.4.3 Composición y valor nutricional.....	18
2.4.4 Usos y aplicaciones.....	20
2.5 Caracterización de films y recubrimientos comestibles	20

2.5.1 Propiedades reológicas	21
2.5.1.1 Fluidos	21
2.5.1.2 Esfuerzo cortante (σ).....	22
2.5.1.3 Velocidad de corte (γ).....	22
2.5.1.4 Viscosidad aparente (η).....	22
2.5.1.5 Modelos reológicos para alimentos fluidos	23
2.6 Permeabilidad	25
2.6.1 Permeabilidad al vapor de agua	26
2.6.2 Métodos de evaluación de la permeabilidad al vapor de agua.....	28
2.6.2.1 Estándar ASTM internacional.....	28
2.6.2.2 División del método ASTM E96/ E 96M-05	29
2.6.2.2.1 ASTM E96/ E 96M-05/Desecante	29
2.6.2.2.2 ASTM-E96/ E 96M-05/Agua	29
2.6.2.2.3 ASTM-E96/ E 96M-05/Agua Invertida	30
2.7 Propiedades térmicas (Calorimetría de barrido diferencial DSC)	30
2.8 Propiedades mecánicas	32
2.9 Color y brillo	34
2.10 Análisis Infrarrojo (FTIR)	35
2.11 Espesor	35
CAPITULO III	36
3. MATERIALES Y MÉTODOS	36
3.1 Materia prima	36
3.2 Producción de mucílago de chíá	36
3.3 Elaboración de películas comestibles	37
3.3.1 Elaboración de películas de pectina cítrica	37
3.3.2 Elaboración de películas de mucílago de chíá	38
3.4 Caracterización de películas comestibles.....	39
3.4.1 Propiedades mecánicas	39
3.4.2 Propiedades térmicas.....	40
3.4.3 Propiedades reológicas	41

3.4.4 Actividad de agua	41
3.4.5 Análisis de Infrarrojo FTIR.....	42
3.4.6 Permeabilidad a gases (CO ₂ y O ₂)	43
3.4.7 Permeabilidad al vapor de agua (WVP)	44
3.4.8 Solubilidad en agua	45
3.4.9 Color.....	46
3.4.10 Espesor	46
3.4.11 Análisis estadístico.....	47
CAPITULO IV.....	47
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
4.1 Producción de mucílago de chía (<i>Salvia hispánica</i>)	47
4.1.1 Elaboración de películas de pectina cítrica	47
4.1.2 Elaboración de películas de chía (<i>Salvia hispánica</i>)	48
4.2 Caracterización de películas comestibles.....	50
4.2.1 Espesor	50
4.2.2 Propiedades mecánicas	51
4.2.2.1 Propiedades térmicas.....	56
4.2.3 Propiedades reológicas	58
4.2.4 Actividad de agua	60
4.2.5 FTIR	62
4.2.6 Permeabilidad a gases (CO ₂ y O ₂).....	64
4.2.7 Permeabilidad al vapor de agua (WVP)	68
4.2.8 Color.....	72
4.2.9 Solubilidad.....	75
5. CONCLUSIONES	77
6. PERSPECTIVAS.....	79
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
8. ANEXOS.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>S. hispánica L.</i> Exomorfología del fruto.....	16
Figura 2. El comportamiento reológico en estado estacionario.....	24
Figura 3. Diagrama del método ASTM E96/ E 96M-05/Desecante para medir permeabilidad al vapor de agua.....	28
Figura 4. Diagrama del método ASTM-E96/ E 96M-05/Agua para medir permeabilidad al vapor de agua.....	28
Figura 5. Diagrama del método ASTM-E96/ E 96M-05/Agua Invertida para medir permeabilidad al vapor de agua.....	29
Figura 6. Mucílago de semilla de <i>Salvia hispánica</i> extraído por centrifugación....	35
Figura 7. Texturómetro TA-XT plus empleado para análisis de propiedades mecánicas de películas comestibles.....	39
Figura 8. Calorímetro de barrido diferencial TA Instruments Modelo. DSC Q y capsulas de aluminio conteniendo las muestras de películas comestibles.	39
Figura 9. Viscosímetro digital empleado para analizar las propiedades reológicas de las películas comestibles.....	40
Figura 10. Analizador de Aw Lab Master-Aw Estándar Modelo Novasina.....	40
Figura 11. Espectrofotómetro Infrarrojo por transformadas de Fourier para análisis de películas comestibles.....	41
Figura 12. Frascos de vidrio con peras y analizador de oxígeno y dióxido de carbono.	Figura
13. Celdas de permeabilidad utilizadas y cajas herméticas con celdas en estufa de secado a 20°C.....	44
Figura 14. Colorímetro Konica Minolta modelo CR-400.....	44
Figura 15. Micrómetro digital empleado para medir el espesor de las películas comestibles.....	45
Figura 16. Películas comestibles a base de pectina cítrica comercial en concentración de 0.4%, 0,5%,0.6%,0.7%,0.8%,0.9%,1%,1.5% y 2%.....	47
Figura 17.. Películas comestibles a base de mucílago de <i>Salvia hispánica</i> a concentraciones del 21%, 23%, 25%, 30%, 35% y 40%.....	48

Figura 18. Gráfico de esfuerzo vs deformación que representan el módulo de Young en películas de pectina cítrica.....	53
Figura 19. Gráfico de esfuerzo vs deformación que representan el módulo de Young en películas de <i>Salvia hispánica</i>	53
Figura 20. Termogramas de películas comestibles de pectina cítrica obtenidos mediante DSC.....	55
Figura 21. Termogramas de películas comestibles de <i>Salvia hispánica</i> obtenidos mediante DSC.....	56
Figura 22. Comportamiento de fluidos newtonianos de películas de pectina cítrica al concentraciones de 0.4%, 0,5%,0.6%,0.7%,0.8%,0.9%,1%,1.5% y 2%.....	57
Figura 23. Comportamiento de fluidos no newtonianos de películas de chíá en concentraciones al 21%, 23%, 25%, 30%, 35% y 40%.....	58
Figura 24. Actividad acuosa presente en las películas de pectina cítrica.....	59
Figura 25. Actividad acuosa presente en las películas de chíá.....	59
Figura 26. FTIR. . a) FTIR para pectina cítrica en diferentes concentraciones, b) FTIR para pectina de chíá a diferentes concentraciones.....	60
Figura 27. FTIR por transformadas de Fourier de diversos tipos de pectinas.....	62
Figura 28. Peras (<i>Pyrus communis</i>).....	63
Figura 29. Identificación de las películas en el diagrama del sistema de notación de color L* a* y b*.....	72
Figura 30. Evolución de los sólidos solubles de los films a base de pectina en función del tiempo.....	74
Figura 31. Evolución de los sólidos solubles de los films a base de mucílago de chíá en función del tiempo.....	74

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Concentraciones de pectina cítrica empleadas para la elaboración de películas comestibles.....	37
Cuadro 2. Concentraciones de mucílago de chía (<i>Salvia hispánica</i>) empleadas para la elaboración de películas comestibles.....	38
Cuadro 3. Espesor de las películas elaboradas a partir de pectina cítrica.....	50
Cuadro 4. Espesor de las películas elaboradas a partir de mucilago de chía.....	50
Cuadro 5. Propiedades mecánicas de las películas de pectina cítrica a diferentes concentraciones.....	51
Cuadro 6. Propiedades mecánicas de las películas de <i>Salvia hispánica</i> a diferentes concentraciones.....	52
Cuadro 7. Datos de permeabilidad a gases de películas de pectina cítrica.....	66
Cuadro 8. Datos de permeabilidad a gases de películas de chía.....	66
Cuadro 9. Valores de permeabilidad al vapor de agua de películas de pectina cítrica a 20° C a una presión de 17.5 mm de Hg.....	68
Cuadro 10. Valores de permeabilidad al vapor de agua de películas de mucílago de chía a 20° C a una presión de 17.5 mm de Hg.....	69
Cuadro 11. Valores de permeabilidad al vapor de agua de distintos materiales y películas comestibles adaptado por Gontard et al 1995.....	70
Cuadro 12. Valores medios y desviación estándar de las coordenadas de cromaticidad L, a *, y b * de las películas a base de pectina cítrica.....	72
Cuadro 13. Valores medios y	

desviación estándar de las coordenadas de cromaticidad L, a *, y b * de las películas a base de mucílago de chía..... 73

INDICE DE ABREVIATURAS

ANOVA	Análisis de varianza
ASTM	American Society for Testing Materials
Aw	Actividad de agua
HR	Humedad relativa
DSC	Calorimetría diferencial de barrido
S.S	Sólidos solubles
FTIR	Infrarrojo por transformada de Fourier
VTVA	Velocidad de transmisión de vapor de agua
WVP	Permeabilidad al vapor de agua

INDICE DE ECUACIONES

E1.1	$\gamma = \frac{dx}{dV}$	22
E1.2	$\eta = \frac{\sigma}{y}$	22
E1.3	$\sigma = \dot{\epsilon} \cdot \tilde{\epsilon}$	23
E1.4	$\sigma = K \cdot \tilde{\epsilon}^n$	23
E1.5	$\sigma = \sigma_0 + \dot{\epsilon} \cdot \tilde{\epsilon}$	23

E1.6 $\phi = \phi_0 + K \cdot \tilde{a}^n$ 23

E 2.1 $J = -D \frac{dC}{dX}$ 25

E2.2 $C = S \times P$ 25

E.2.3

Permeabilidad = $J \frac{dX}{dP}$ 25

E.2.4

Resistencia = $W_i - \frac{W_a}{J}$ 25

E3.1 $E = \sigma / \xi$ 38

E3.2 $\sigma = \frac{F}{A}$ 38

E3.3 $\xi =$

$\frac{\Delta l}{l} \times 100$ 38

E4.1.

mL / (L (CO2)(volumen libre L/peso(kg))(1/tiempo(h))42

E5.1 $WVP = \frac{(Slope)(L)(24)}{(A)(VP)}$

.....43

MANIFIESTO DE HONESTIDAD ACADEMICA

El suscrito Alejandra Elizabeth Aguilar Reynosa estudiante de la carrera ingeniero en ciencia y tecnología de alimentos con matricula 295305 y autor de la siguiente tesis manifiesto que:

1. Reconozco que el plagio académico constituye un delito que está penado en nuestro país
2. Las ideas, opiniones, datos e información publicadas por otros autores y utilizadas en la presente tesis han sido debidamente citadas reconociendo la autoría de la fuente original.
3. Toda la información consultada ha sido analizada e interpretada por el suscrito y redactada según su criterio y apreciación, de tal manera que no se ha incurrido en el “copiado y pegado” de dicha información.
4. Reconozco la responsabilidad sobre los derechos del autor de los materiales bibliográficos consultados por cualquier vía y manifiesto no haber hecho mal uso de ninguno de ellos.
5. Entiendo que la función y alcance de mi comité de asesoría está circunscrito a la orientación y guía respecto a la metodología de la investigación realizada para la presente tesis, así como del análisis e interpretación de mis resultados obtenidos, y por lo tanto eximo de toda responsabilidad relacionando al plagio académico a mi comité de asesoría y acepto que cualquier responsabilidad al respecto es únicamente mía.

Atentamente

Alejandra E Aguilar R.

Alejandra Elizabeth Aguilar Reynosa

Tesista de licenciatura UAAAN

El presente trabajo de investigación ha sido desarrollado en el marco de las actividades comprometidas del proyecto “Desarrollo y transferencia de tecnología para el control de patógenos post-cosecha en fruto de manzana (*Malus domestica*) como cultivo modelo”, con clave **ECO 2010-01-148092**

El proyecto fue financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología bajo la convocatoria de proyectos de Economía 2012.

Los colaboradores de esta investigación son:

Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez

M.C José Humberto SánchezRobles

Dr. Jesús Alonso Sánchez

Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez

RESUMEN

La presente investigación tuvo como finalidad elaborar películas comestibles a partir de *mucílago* de *Salvia hispánica* y de pectina cítrica de bajo metoxilo, para establecer una comparación entre ellas y definir cuál es la más apropiada para su aplicación en distintos alimentos. Dicha comparación se evaluó realizando la caracterización del comportamiento a diversos factores como físicos (solubilidad, color, espesor), químicos (composición, A_w , FTIR,), térmicos (cristalización, fusión, temperatura de transición vítrea T_g), reológicos (viscosidad), mecánicos (esfuerzo máximo, deformación, módulo de elasticidad), propiedades de barrera a gases (CO_2 y O_2) y la permeabilidad al vapor de agua de estos dos recubrimientos o películas comestibles. Como resultado se obtuvieron películas flexibles con buena resistencia mecánica, con niveles bajos de viscosidad de las soluciones formadoras de las películas, mostraron una A_w que no propicia la proliferación de microorganismos. Las películas son estables térmicamente en un rango de temperaturas de $0^\circ C$ a $100^\circ C$ y con valores aceptables de permeabilidad. Luego del análisis de resultados de la caracterización, se observó que la mayoría de las propiedades analizadas de las películas como las reológicas, mecánicas, A_w , espesor, color, solubilidad y de barrera a los gases se ven afectadas por la concentración del polímero utilizado en la formulación de la película, además de que la película que muestra las mejores propiedades para ser utilizada como barrera de recubrimiento es la película elaborada con *Salvia hispánica* en un 35%, glicerol al 1% y 0.2% $CaCl_2$, ya que presentó los mejores valores de resistencia o esfuerzo máximo ($14.6796 N/mm^2$) y buena permeabilidad, además de todas las características mencionadas anteriormente. Por lo que se recomienda continuar el estudio de esta semilla y su mucílago (polímero) para su utilización en el área de alimentos para formar recubrimientos o películas comestibles promoviendo así el aprovechamiento de este alimento funcional.

Palabras claves: película comestible, *Salvia hispánica*, pectina cítrica, DCS, Infrarrojo (FTIR), permeabilidad, reología de alimentos.

CAPITULO I

1 INTRODUCCIÓN

Hoy en día la temática principal sobre aspectos de inocuidad alimentaria exige que los ingenieros, tecnólogos y procesadores de alimentos contribuyan a proteger y garantizar la salud de los consumidores, ofreciendo nuevas alternativas que ayuden a establecer productos alimenticios libres de microorganismos patógenos, y que a su vez representen novedosas técnicas de conservación de los mismos. Una película comestible, según Guilbert (1986) es una capa delgada y continua, hecha de materiales que puedan ser ingeridos por el consumidor y provee una barrera a la humedad, oxígeno y solutos. El material puede cubrir completamente el alimento o puede colocarse entre los componentes del producto. Las películas comestibles tienen la capacidad de incorporar agentes antimicrobianos para proveer estabilidad microbiológica a los alimentos; ya que sirven como acarreadoras de un amplio número de compuestos, los cuales incluyen enzimas, agentes quelantes, bacteriocinas, benzoatos, propionatos, parabenos, sorbatos, agentes curantes, y antimicrobianos de origen natural como los aceites esenciales. Estos compuestos tienen la capacidad de extender la vida de anaquel de un producto y reducir el riesgo de crecimiento de patógenos en la superficie de los alimentos (Rooney, 2002; Cagri et al, 2004; Min y Krochta, 2005; Lin y Zhao, 2007; Ozdemir y Floros, 2008).

El creciente interés por el desarrollo de películas y cubiertas comestibles para incrementar la conservación de alimentos se debe fundamentalmente a las exigencias, cada vez mayores de reducir el impacto en la contaminación ambiental que se ha producido con el incremento de desechos generados por el uso de envases y plásticos de origen sintético o no biodegradables para el empaquetado y distribución de alimentos.

Las películas biodegradables pueden ayudar significativamente en la reducción de las consecuencias ambientales de los embalajes sin embargo aún no cumplen con las características necesarias de resistencia (elongación) y de barrera

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

al vapor de agua exigidas por los productores de alimentos para brindar una buena protección en los alimentos.

Otro de los factores que actualmente han llevado a la elaboración de películas comestibles es debido a que el crecimiento microbiano en la superficie de los alimentos es la principal causa de su deterioro y enfermedades transmitidas por éstos, por lo cual es necesario el contar con técnicas novedosas que permitan ofrecer al consumidor productos inocuos que a la vez no influyan de manera directa sobre las propiedades nutricionales y organolépticas del alimento.

El objetivo de este trabajo es estudiar las características de películas elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y de pectina cítrica en distintas concentraciones, para definir el comportamiento a diversos factores como térmicos, reológicos, mecánicos, propiedades de barrera y la permeabilidad al vapor de agua de estos dos recubrimientos o películas comestibles para su óptima utilización en alimentos.

1.1 Justificación

En los últimos años se ha investigado intensamente en el campo de los films y recubrimientos comestibles, los esfuerzos continúan debido a la creciente demanda por parte de los consumidores de adquirir alimentos de mejor calidad, saludables y seguros. Además, los films comestibles pueden ayudar significativamente en la reducción de las malas consecuencias ambientales de los embalajes, y en la protección, extensión de la vida útil y frescura de los alimentos.

En muchos casos, estos recubrimientos o films comestibles se elaboran a partir de materiales abundantes en la naturaleza (polímeros), incluso algunos que actualmente se consideran desperdicios (proteínas de suero de leche) o también a partir de alimentos funcionales que transfieren sus beneficios nutricionales al ser el componente principal de la película como es el caso de las películas de *Salvia hispánica*.

Este proyecto se desarrolló tomando en cuenta los aspectos anteriores ya que es necesario e importante seguir investigando en el área de los materiales comestibles

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

o empaques activos para que tal vez en un futuro no lejano puedan ser una realidad como materiales de empaque representando una innovadora solución o alternativa a los empaques actuales tanto para la industria y para el consumidor.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Elaborar y caracterizar películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y de pectina cítrica de bajo metoxilo para establecer una comparación y definir cuál es la más apropiada para su aplicación en distintos alimentos

1.2.2 Objetivos específicos:

- Obtención del mucílago de *Salvia hispánica* mediante hidratación, triturado y centrifugación.
- Elaboración de películas comestibles utilizando *Salvia hispánica* y pectina cítrica como biopolímero principal probando distintas concentraciones de estos.
- Caracterizar las propiedades reológicas de las soluciones que se utilizaran como cubiertas en función de la concentración y temperatura.
- Caracterizar las películas mediante las propiedades térmicas, mecánicas, Aw, FTIR, espesor, color, solubilidad en agua, con el propósito de conocer su potencial aplicación en alimentos.
- Evaluar la funcionalidad de las películas estudiadas aplicadas como recubrimiento en frutos frescos de pera mediante la evaluación de algunos

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

parámetros de calidad del producto recubierto durante el almacenamiento como lo son la permeabilidad al vapor de H₂O, CO₂ y O₂.

1.3 Hipótesis

- Las características físicas y químicas del mucílago de *Salvia hispánica* son apropiadas para poder elaborar recubrimientos y/o películas comestibles en base a este biopolímero.
- Los recubrimientos y/o películas comestibles elaboradas a base del mucílago de *Salvia hispánica* y de pectina cítrica tienen características apropiadas para ser aplicadas en productos alimentarios como barrera de recubrimiento y con expectativas de mejorar de las características organolépticas y de conservación en alimentos.
- Las películas y/o recubrimientos aplicados en pera mejorarán la estabilidad y la calidad del fruto alargando la vida útil.

CAPITULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades

La calidad de los productos alimenticios depende de las características organolépticas, nutricionales e higiénicas, pero éstas evolucionan durante el almacenamiento y comercialización. Muchos procesos físicos y químicos tales como la esterilización, alta presión, irradiación, adición de agentes activos, etc., han sido desarrollados para estabilizar a los alimentos y de esta manera preservar su calidad. Sin embargo, el uso de envases sintéticos es necesario en muchos casos en la última etapa del proceso de conservación, para asegurar la calidad del alimento durante el almacenamiento. En el envasado de alimentos se utiliza una amplia variedad de materiales que incluyen metales rígidos y flexibles, vidrio, plásticos flexibles, papel, películas y recubrimientos biodegradables, etc. (McDowell, 2003).

Actualmente en la elaboración de los recubrimientos biodegradables se usan materiales comestibles tales como amilosa, pectina, quitina, zeína, caseína y proteína de suero de leche, por ser materiales degradables y/o desintegrables (Brandenburg *et al.*, 1993; Coffin y Fishman, 1993; Gennadios y Weller, 1990; McHugh y Krochta, 1994a; Sapru y Labuza, 1994 Citados por Abraján 2008).

La combinación de envases sintéticos y comestibles hace más eficiente la conservación de la calidad de los alimentos (Krochta, 1992). Además, los envases comestibles se consideran materiales no contaminantes por estar constituidos de sustancias naturales de origen agrícola, marino o subproductos industriales, renovables y biodegradables, por lo que contribuyen a la protección del medio ambiente. El entrecruzamiento y copolimerización de polímeros naturales con monómeros sintéticos es otra alternativa para la elaboración de películas y recubrimientos comestibles (Tharanathan, 2003).

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

Se considera envase comestible cuando el envase, como una película, una capa fina o una cubierta, es parte integral del alimento y se come con él (Debeaufort *et al.*, 1998). Los recubrimientos son los aplicados o hechos directamente en los alimentos y las películas son estructuras independientes que pueden envolver al alimento después de haber sido hechas. Ambas se localizan en la superficie del alimento o como una fina capa entre algunos componentes dentro del producto. Los recubrimientos y películas comestibles se pueden clasificar como alimento aunque la mayoría de las veces no contribuyen con un valor nutritivo significativo, por lo que se consideran más como un aditivo. Su sabor debe ser prácticamente inapreciable por el consumidor o si tiene un sabor característico, éste debe ser compatible con el alimento al que protegen (Biquet y Labuza, 1988).

Las películas y recubrimientos comestibles deben cubrir los siguientes requerimientos para poder ser utilizados en alimentos (McHugh y Krochta, 1994):

- Buenas cualidades sensoriales
- Eficiencia mecánica y gran capacidad de barrera
- Suficiente estabilidad bioquímica, física y microbiológica
- Libre de tóxicos y seguros para la salud
- Tecnología simple de fabricación y aplicación
- No contaminante
- Bajo costo como materia prima y proceso.

Las propiedades funcionales de películas y recubrimientos comestibles son (Biquet y Labuza, 1988; Kester y Fennema, 1986):

- Retardan la pérdida de humedad de los alimentos frescos o congelados.
- Retardan la absorción de humedad en otros casos como en alimentos en polvo o crujientes.
- Retardan la transferencia de gases (O_2 , CO_2) con lo que se puede controlar la respiración y por tanto la maduración de ciertos productos o la oxidación de ciertos compuestos contenidos en el alimento (El Ghaout *et al.*, 1991). Se considera que crean una atmósfera modificada.

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

- Retardan la migración de grasas y aceites o reducen la absorción de grasas durante el proceso de fritura de productos.
- Imparten integridad estructural a los alimentos y favorecen el manejo del mismo.
- Retienen compuestos volátiles asociados con el sabor.
- Son vehículos para la incorporación de aditivos como los compuestos aromáticos (Debeaufort y Voilley 1995; Reineccius, 1994), antioxidantes (Mazza y Qi, 1991), colorantes, sustancias nutritivas (Avena-Bustillos y Krochta, 1993), iones y conservantes (Rico-Peña y Torres, 1991).
- Ayudan a mejorar ciertas propiedades de apariencia del producto.
- Permiten la separación de piezas o dosis específicas contenidas en un mismo envase facilitando de esta manera su consumo.
- Retardan o previenen el crecimiento microbiano durante el almacenamiento.

La característica funcional más importante de las películas y recubrimientos comestibles para su aplicación en alimentos es su resistencia a la migración de humedad. La importancia de esta función radica en que los niveles de actividad del agua (A_w) deben ser mantenidos en los alimentos de tal manera que exhiban una calidad óptima y seguridad aceptable (Avena-Bustillos y Krochta, 1993; Biquet y Labuza, 1988).

Generalmente las películas deben ser flexibles pero resistentes a la ruptura y a la abrasión. Las propiedades mecánicas de sustancias amorfas constituyentes de los recubrimientos son seriamente modificadas cuando se alcanzan temperaturas alrededor de su temperatura de transición vítrea (T_g). Por debajo de este valor, la estructura es rígida y por encima de ella se obtiene una estructura viscoelástica (Guilbert *et al.*, 1996).

2.2 Componentes de películas alimenticias

Los componentes de las películas alimenticias pueden ser divididos en tres categorías: hidrocoloides, lípidos y componentes compuestos. Los hidrocoloides incluyen proteínas, derivados de celulosa, alginatos, pectinas, almidones y otros

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

polisacáridos; los lípidos incluyen ceras, acilgliceroles y ácidos grasos; y los componentes compuestos contienen componentes lípidos e hidrocoloides. Del tipo de componente dependerán las propiedades de cada película (Krochta *et al.*, 1994).

La eficiencia funcional de las películas y recubrimientos comestibles depende básicamente de la naturaleza de sus componentes y de la composición y estructura. La elección de las sustancias formadoras de la película y/o de los aditivos activos está en función del objetivo, la naturaleza del producto y del método de aplicación.

Los lípidos o sustancias hidrofóbicas son más eficientes para retardar la transferencia de humedad (Gontard *et al.*, 1994) y las sustancias hidrosolubles son poco eficientes en este aspecto, pero su permeabilidad a los gases es más baja que la de las películas plásticas. Los hidrocoloides proporcionan mejores propiedades mecánicas a los envases comestibles que las sustancias hidrofóbicas.

2.2.1 Hidrocoloides

Las películas elaboradas a partir de hidrocoloides son usadas donde el control de la migración de vapor de agua no es el objetivo. Poseen buenas propiedades de barrera para el oxígeno, dióxido de carbono y lípidos. La mayoría de estas películas tienen propiedades mecánicas deseables para trabajar con productos frágiles, son sensibles al calentamiento y no aportan sabor (Donhowe y Fennema, 1994).

2.2.1.1 Polisacáridos

Las películas de polisacáridos tienen buenas propiedades de barrera a los gases y pueden adherirse a superficies de frutas y vegetales seccionados. No son buena barrera para la humedad (Guilbert, 1986). Se han elaborado películas a partir de celulosa, pectina, almidón, alginatos, quitosano, carragenina, gomas y mezclas.

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

Las películas de pectina, generalmente, están hechas de pectina de bajo metoxilo, cloruro de calcio, un plastificante y en algunos casos ácidos orgánicos. Las pectinas son un grupo complejo de polisacáridos estructurales que están presentes en la mayoría de las plantas. Estas películas son de alta permeabilidad a los gases en comparación con las de cera y aceite, bajo condiciones similares (Sánchez, 1998).

Las películas de pectina de bajo metoxilo son utilizadas en frutas secas con el objeto de favorecer su apariencia más que evitar la transferencia de humedad (Baldwin *et al.*, 1995). A partir de la celulosa también se obtienen películas, los derivados de celulosa son buenos formadores de películas debido a su estructura lineal. Los ésteres de celulosa no iónicos mantienen películas solubles al agua que son duras y flexibles. El hidroxipropil e hidropopilmetil celulosa forman películas que retardan la rancidez oxidativa y la absorción de humedad en nueces (Sánchez, 1998).

Las películas de almidón son estables, transparentes, flexibles, generalmente permeables al gas y sensibles a la humedad (Sánchez, 1998).

2.2.1.2 Proteínas

Las películas de proteínas poseen mayor resistencia al vapor de agua que el resto de los hidrocoloides solubles en agua. Son susceptibles al cambio de pH, pueden proporcionar un valor nutricional agregado al producto, son buenas formadoras de películas y se adhieren a superficies hidrofílicas (Baldwin *et al.*, 1995).

Según Baldwin *et al.* (1995), las fuentes más comunes son caseína, zeína, soya, albúmina de huevo, lacto albúmina, suero de leche, gluten de trigo y colágeno.

Las películas de zeína contienen aceite vegetal, glicerina, antioxidantes y ácido cítrico. Éstas previenen la rancidez en productos como nueces, ya que actúan como barreras a la humedad, restringen el transporte de oxígeno y sirven como vehículos para antioxidantes. Han sido utilizadas en tabletas farmacéuticas,

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

en confitería y se ha reportado que retardan la madurez de tomates enteros (Baldwin *et al.*, 1995).

Las películas de albúmina y las de soya, reducen la pérdida de humedad (Baldwin *et al.*, 1995). Las películas de gluten de trigo son buenas barreras al oxígeno y dióxido de carbono, tienen alta permeabilidad al vapor de agua y sus propiedades mecánicas son comparables con las películas poliméricas (Baldwin *et al.*, 1995). Gontard *et al.* en 1995 mejoró la permeabilidad de éstas películas utilizando ácidos grasos, además observó que se reduce ligeramente su transparencia y mejoran sus propiedades mecánicas.

2.2.3 Películas de lípidos

Se utilizan como barreras para el vapor de agua, o como agentes de recubrimiento para darle brillo a productos de confitería o frutas. Las ceras son comúnmente usadas como recubrimientos de frutas y vegetales para retardar la respiración y la pérdida de humedad.

Las películas de cera son, la mayoría de las veces, más resistentes al paso de la humedad que otros componentes. Los ácidos grasos y los alcoholes grasos son barreras efectivas al vapor de agua. Las propiedades de barrera de estas películas son altamente dependientes del arreglo cristalino que presenten los lípidos (Donhowe y Fennema, 1994).

2.2.4 Aditivos

Para impartir propiedades mecánicas, nutricionales y organolépticas a las películas, se utilizan diversos aditivos, como agentes antimicrobianos, ácidos orgánicos, antioxidantes, colorantes, saborizantes y otros componentes nutritivos (Guilbert, 1986). Los aditivos pueden ser:

- a) Plastificantes. Como alcoholes polihídricos, ceras, aceites, ácidos grasos.
- b) Surfactantes y emulsificantes. Como grasas, aceites, emulsificantes y polietilenglicol.

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

c) Conservadores químicos. Como ácido benzóico, benzoato de sodio, ácido sórbico, sorbato de potasio y ácido propiónico.

2.2.4.1 Plastificantes

Los plastificantes son añadidos en las películas para incrementar la flexibilidad, resistencia al corte y dureza, así como para reducir la quebrajosidad. Actúan disminuyendo las fuerzas intermoleculares en la cadena del polímero, produciendo un decremento en la fuerza de cohesión, en la tensión y en la temperatura de transición vítrea. El plastificante debe ser miscible con el polímero y de ser posible, soluble en el solvente. Las películas requieren una concentración de plastificante entre el 10 y el 60% (base seca) (Guilbert, 1986).

Según Guilbert (1986), los plastificantes comúnmente usados en alimentos son:

- a). Mono-, di- y oligosacáridos (glucosa, jarabes, miel).
- b). Polioles (sorbitol, glicerol, polietilenglicoles y sus derivados).
- c). Lípidos y derivados (ácidos grasos, monoacilgliceroles, derivados éster y surfactantes).

Generalmente es necesario el uso de los plastificantes, para mejorar la resistencia y flexibilidad de la película, aunque éstos reducen el brillo de las mismas por interferir con los puentes de hidrógeno entre las moléculas de lípidos e hidrocoloides (Tharanathan, 2003). Los emulsionantes mejoran la dispersión de los glóbulos grasos en la composición de la emulsión base de la película comestible (Debeaufort y Voilley, 1995).

2.2.4.2 Surfactantes y emulsificantes

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

Previenen la fractura de la película sobre el alimento, reducen la actividad de agua de las películas y la velocidad de pérdida de humedad en el producto. Incluyen grasas, aceites, emulsificantes y polietilenglicol (Baldwin *et al.*, 1995).

2.2.4.3 Conservadores

Se utilizan conservadores que puedan controlar el crecimiento de mohos, levaduras y bacterias, como el benzoato de sodio, ácido benzoico, ácido ascórbico, ácido propiónico y sorbato de potasio. Debido a que el conservador se difunde hacia el alimento la efectividad del conservador respecto al tiempo es limitada, por lo que la acción del conservador en base a la concentración inicial es reducida. Además son importantes otros factores como la permeabilidad del ácido sórbico, que es dependiente del tipo de película y del contenido de ácidos grasos que reducen su permeabilidad (Baldwin *et al.*, 1995).

2.3 Formación de la película

Cuando un polímero está siendo aplicado a una superficie o matriz, existen dos fuerzas que operan, una es entre las moléculas del polímero formadoras de la película (cohesión) y la otra, la de la película y el sustrato (adhesión). Las fuerzas de cohesión afectan la densidad, compactación, porosidad, permeabilidad, flexibilidad y fragilidad de la película. La exposición al calor excesivo de las películas, afecta la cohesión, porque inmoviliza prematuramente las moléculas de polímero provocando defectos como perforaciones y fractura prematura de la película. Las soluciones de concentración intermedia generalmente resultaran en el incremento de la fuerza cohesiva debido a la viscosidad óptima y solvatación del polímero. Un indicador de que se llevó a cabo una adecuada solvatación es la alta viscosidad (Guilbert, 1986).

Las películas homogéneas con superficie lisa se obtienen a partir de soluciones homogéneas de polisacáridos o proteínas completamente disueltos. La incorporación de lípidos supone pérdidas de brillo por la aparición de partículas grasas en la superficie, resultado de los procesos de floculación, coalescencia y

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

cremado de los glóbulos grasos durante el secado de la película (Trezza y Krochta, 2000; Villalobos *et al.*, 2005, Maftoonazad *et al.*, 2007a).

Las sustancias formadoras de películas tienen la capacidad de formar una estructura continua en forma de red tridimensional donde el solvente utilizado queda atrapado estableciendo interacciones entre moléculas bajo la acción de un tratamiento químico o físico. La formación del recubrimiento o película involucra alguno de los siguientes procesos (Contreras-Medellín y Labuza, 1981; Gontard *et al.*, 1994):

- Fusión y solidificación de grasas, ceras y resinas.
- Agrupación simple cuando un hidrocoloide es dispersado en soluciones acuosas y precipitadas o gelificadas por eliminación del solvente. También por la adición de un soluto no electrolítico en el que el polímero no es soluble, por la adición de un electrolito que induzca un efecto de precipitación por salado o por la modificación del pH de la solución.
- Coacervación compleja, cuando dos dispersiones coloidales con cargas diferentes se combinan induciendo interacciones y la precipitación de la mezcla de polímeros.
- Gelatinización térmica o coagulación por calor de la solución macromolecular que involucra desnaturalización, gelificación, precipitación y enfriamiento rápido de la solución del hidrocoloide que induce una transición sol-gel.

Las películas que son estructuras independientes se obtienen después de haber sido extendida o pulverizada la solución formadora sobre un soporte, secada y desprendida del mismo. Se pueden obtener por tecnologías industriales como la extrusión, coextrusión, laminación y secado por rodillos de la solución de polímero (Lindstrom *et al.*, 1992; Fellows, 1990; Liu *et al.*, 2007b; Fishman *et al.*, 2006).

Los métodos para realizar los recubrimientos son: pulverización, moldeado en cápsulas especiales, inmersión del producto en la dispersión formadora de recubrimiento o extensión de la misma sobre el producto con cepillos. La etapa de aplicación va seguida de una etapa de secado o enfriamiento (Gontard *et al.*, 1994). Para cada uno de los métodos señalados existen particularidades para

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

conseguir un recubrimiento adecuado. Así, en la inmersión hay que recambiar la solución de inmersión ya que durante el proceso hay contaminación por microorganismos, sólidos u otros contaminantes. En la pulverización hay que mantener la presión adecuada para conseguir el espesor del recubrimiento requerido (Tharanathan, 2003).

El método de inmersión se recomienda para productos que requieren la aplicación de varias capas de recubrimientos, tienen una superficie irregular o requieren un recubrimiento uniforme. La pulverización es adecuada si se requiere obtener un recubrimiento de espesor muy fino.

Cuando el material utilizado para el recubrimiento entra en contacto con el alimento, se establecen dos tipos de fuerzas, adhesivas y cohesivas. La adhesividad del recubrimiento sobre la superficie del producto depende principalmente de su naturaleza y uniones entre el soporte y la película, es decir, de su afinidad y no del método de aplicación, aunque el uso de aditivos, como los tensoactivos, puede permitir la adhesión del recubrimiento sin tener afinidad a la superficie del producto. Los factores involucrados en el grado de cohesión son: la estructura de polímero, el tipo de solvente, la temperatura, la presión, la técnica de aplicación y eliminación del solvente y la presencia de otras moléculas como los plastificantes o lípidos y el tipo de unión entre las moléculas. El grado de cohesión afecta a algunas propiedades de la película o recubrimiento, tales como son: la resistencia, flexibilidad, permeabilidad, etc. Una cohesión fuerte reduce la flexibilidad, las propiedades de barrera a los gases y solutos (Fellows, 1990).

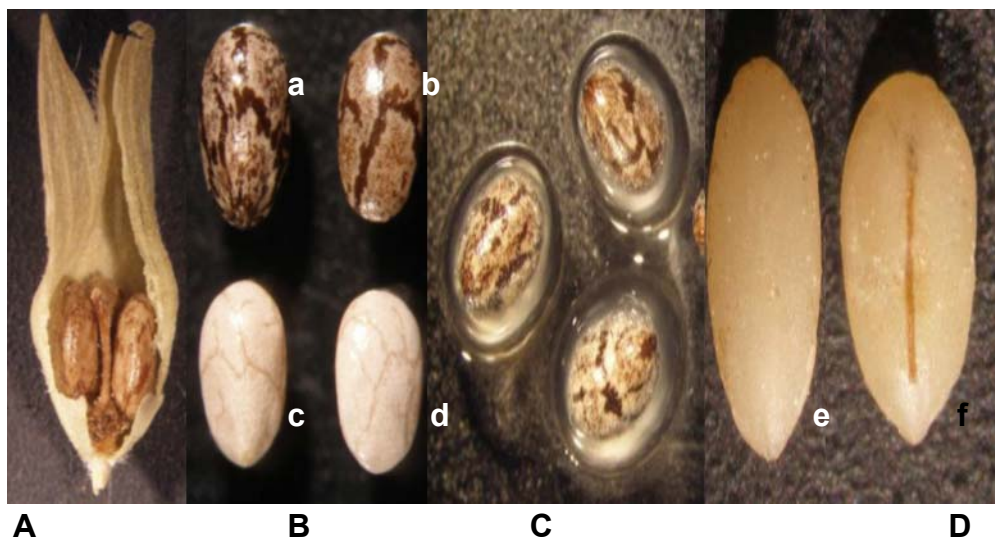
2.4 *Salvia hispánica*

S. hispánica conocida como “salvia española”, “artemisa española”, “chía mexicana”, “chía negra”, o simplemente “chía” es una planta anual originaria de las zonas montañosas del oeste y centro de México (Beltrán-Orozco y Romero, 2003; Ayerza y Coates, 2006). Aunque se desconocen los orígenes de su cultivo y los procesos de su domesticación, la selección humana en esta especie ha sido una fuerza poderosa en su evolución, dada la capacidad de la planta de producir

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

miles de semillas, combinada con su ciclo de vida anual, su sistema de polinización altamente autógamo y la alta heredabilidad de algunas características fenotípicas (Cahill, 2005; 2005; Ayerza, 2009). Es probable que exista una amplia diversidad entre poblaciones de *S. hispánica* (Cahill, 2004; Hernández-Gómez y Miranda-Colin, 2008). Debido a que un gran número de especies de la familia *Lamiaceae* producen compuestos de fuerte impacto comercial, en los últimos años se han utilizado otros criterios (quimiotaxonomía, citotaxonomía, etc.), además del morfológico, para la separación y delimitación de las especies (Ben Halkire *et al.*, 1993).

En México hay un grupo amplio de especies que pertenecen a la familia *Labiatae*, ésta comprende aproximadamente 512 especies en todo el país (Hernández, 1994), destacando dos géneros por su gran número de especies (aprox. 65% de las existentes en el país) y porque son las tradicionalmente llamadas chías: *Hyptis* y, por supuesto *Salvia*, de esta última sobresale *Salvia hispánica* L. que representa la variedad comercial en el país (figura 1). El interés por la chía resurgió a finales del siglo pasado, ya que se encontró que posee un elevado contenido de aceite (32%). Además de ser una buena fuente de proteína (18%) y fibra cruda (24%), el mucílago de la semilla resulta útil como aditivo alimenticio, entre otras características (Bushway, 1981; Beltrán-Orozco y Romero, 2003).



Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Figura 1. *S. hispánica* L. Exomorfología del fruto. A: clusas incluidas en el cáliz. B: exomorfología de las clusas: a, b: clusas oscuras; c, d: clusas claras; a y c: cara ventral; b y d: cara dorsal. C: Mixocarpia: clusas hidratadas con formación de mucílago. D: exomorfología de la semilla: e: cara dorsal, f: cara ventral. Escalas: A, B, D: 0,5 mm, C: 1 mm. (Fuente Di Sapio, 2012)

2.4.1 Descripción botánica

La chía (*Salvia hispánica* L.) es una planta herbácea, anual, perteneciente a la familia de las labiadas (Lamiaceae) y originaria de las áreas montañosas de México. Los ejemplares de esta especie pueden alcanzar el metro y 1,5 m de altura. Los tallos son cuadrangulares, acanalados y pilosos. Las hojas se presentan opuestas, pecioladas y limbo aserrado. Las flores, hermafroditas, se pueden presentar de forma reunida en ramilletes terminales. Según la variedad de chía, el color de los pétalos puede variar del púrpura al blanco. El fruto tiene forma de aquenio indehiscente. En su interior se halla la pequeña semilla de forma oval (2 mm de largo x 1,5 mm ancho) y con aspecto liso, brillante, de color pardo grisáceo a blanco y con algunas líneas rojizas. (Bio-Ener S.L, 1996)

2.4.2 Historia culinaria

Se cree que el origen de la *Salvia hispánica* es Centroamérica, donde en la época precolombina (3500 años a. C.), la chía fue uno de los alimentos básicos para las civilizaciones habitantes de América Central. Su cultivo fue probablemente el tercero en importancia económica, superado sólo por el maíz (*Zea mays*) y el frijol (*Phaseolus vulgaris*). En el Codex Florentinus, escrito por fray Bernardino de Sahagún y que transcribe la “Historia general de las cosas de la Nueva España”, se detalla la importancia de esta semilla y describe aspectos de la producción, comercialización y uso. El texto explica como mayas y aztecas la empleaban como alimento, como medicina, como ofrenda a los dioses y como materia prima para producir un aceite que era usado como base en pinturas decorativas y ungüentos

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

cosméticos. La harina tostada, era utilizada para la elaboración de una popular bebida nutritiva denominada “Chía fresca” (agua, limón, chía). Pero años después del descubrimiento de América, los cereales aportados por los españoles, desplazaron su cultivo, el cual casi llegó a desaparecer. Su cultivo sólo sobrevivió en las áreas montañosas de México y Guatemala y a finales del siglo pasado, el interés por la chía resurgió, por considerarla buena fuente de fibra alimentaria, proteína y antioxidantes.

Existen otras especies de plantas emparentadas con la chía, como la *Salvia columbariae*, procedente del SE de E.U.A., y la *Salvia miltiorrhiza* o “dan shen” procedente de China, que han sido y siguen siendo utilizadas en la medicina tradicional de estos países con fines nutricionales o medicinales como la *S. hispánica*. (Bio-Ener S.L, 1996)

2.4.3 Composición y valor nutricional

Las semillas de chía destacan por su riqueza en componentes nutricionales como los ácidos grasos poliinsaturados, fibra y vitaminas del grupo B.

Los aceites de la semilla constituyen el 32%-39% del total, donde el 60% de éstos es el ácido α -linolénico (omega-3, precursor de los ácidos grasos DHA ácido docosahexanoico y EPA o ácido eicosapentanoico) y el 20% es ácido α -linoléico (omega-6). Esta elevada cantidad implica que la semilla de chía, junto con el lino (*Linum usitatissimum* L.) sea una de las mejores fuentes de ácidos grasos esenciales (AGE) de origen agrícola. Sin embargo, la Chía, por encima del lino, es el cultivo con mayor porcentaje de estos AGE (α -linolénico y α -linoléico) al tener más del 80 % de sus lípidos con dicha característica. (Bio-Ener S.L, 1996)

A parte del buen perfil lipídico, las semillas contienen cerca de un 20% de proteínas, mientras que otros cereales como el trigo (14%), maíz (14%), arroz (8,5%), avena (15,3%) y cebada (9,2%) las contienen en menos proporción. Son de muy fácil digestión y de rápida absorción, con lo que llegan rápido para nutrir a células y tejidos. Entre los aminoácidos esenciales que contiene, destaca la lisina,

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

aminoácido limitante en los otros cereales. No contiene gluten, por lo que su consumo es apto para las personas alérgicas al gluten (celíacos) o intolerantes.

Los hidratos de carbono engloban entre el 35% y 40% de su peso final. Dentro de éstos, no se encuentran azúcares (0% de monosacáridos y disacáridos), y casi el 90% es fibra y el resto fécula. La mayoría de la fibra es soluble y de alto peso molecular (mucílagos), con una extraordinaria capacidad de retención de agua. Por este motivo, cuando se ponen en contacto con agua u otro medio acuoso, incrementan su peso 14 veces más que el salvado de trigo y 16 veces más que la linaza, creando un gel de textura viscosa. Cuando se ingieren, las semillas entran en contacto con los ácidos del estómago y el gel que se forma hace de barrera física entre los hidratos de carbono consumidos y las enzimas digestivas. Este proceso hace que los carbohidratos se digieran más lentamente y que la conversión a glucosa sea gradual y sostenida. Esto resulta beneficioso en el tratamiento dietético de la diabetes, ya que evita elevaciones bruscas del nivel de glucosa en sangre después de comer. La dieta no puede curar la diabetes pero sí controlarla mejor y por ello, el tratamiento dietético debería llevarse a cabo durante toda la vida. Por otro lado, la fibra también ayuda a mejorar de la velocidad de tránsito del estómago y hace que las heces más suaves y fáciles de evacuar, por lo que es útil en el estreñimiento. (Bio-Ener S.L, 1996)

En materia de vitaminas, minerales y oligoelementos, la chía posee gran riqueza en calcio, hierro, magnesio, potasio, zinc, manganeso, fósforo, cobre y boro. Es pobre en sodio. Destaca la presencia de vitamina C, vitamina A, vitaminas del grupo B y sobretodo ácido fólico. (Bio-Ener S.L, 1996)

Otros nutrientes a destacar son la gran variedad de compuestos con potente actividad antioxidante, principalmente flavonoides. Por este motivo sus productos derivados, como el aceite o harina, no necesiten usar antioxidantes adicionales para su conservación. Según estudios y analíticas realizadas, los antioxidantes más destacados en las semillas de chía son: la quercetina, la mircetina, el kaempferol, los glicósidos flavonoides; y en menos concentración el ácido cafeico y el ácido clorogénico. Estas sustancias ayudan a mantener más estable la

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

composición lipídica de la semilla y que su aceite no se enrancie a lo largo del tiempo, mientras que en los ácidos esenciales extraídos de los animales y algas, como el ácido docosahexanoico (DHA) y el ácido eicosapentanoico (EPA), al no contenerlos se peroxidan más fácilmente. Por dicho motivo necesitan la adición de antioxidantes, como la vitamina E, para su conservación y estabilización. Sin embargo, con o sin adición de antioxidantes y/o conservantes, son ácidos grasos DHA y EPA se oxidan de forma más fácil y rápida que los ácidos α -linoléico, α -linolénico y araquidónico. (Bio-Ener S.L, 1996)

2.4.4 Usos y aplicaciones

Semillas: el consumo directo de sus semillas es una buena forma de complementar la dieta, (suplemento alimenticio) pues nos aportan AGE, principalmente omega 3, fibra y aminoácidos esenciales. Se deben consumir molidas o bien masticadas para permitir su correcta digestión y metabolización. Si se dejan reposar en agua, las semillas quedarán envueltas en un polisacárido mucilaginoso denso (la fibra soluble), el cual es excelente para la digestión y el tránsito intestinal. En niños menores de 4 años, el consumo normal es de 1g al día, aunque la dosis máxima es 3g. En niños más mayores, hasta los 18 años, el consumo diario es de 1,5g, que se puede incrementar hasta un máximo de 4,3 g.(Bio-Ener S.L, 1996)

Harina: al igual que el aceite, es un ingrediente perfecto para enriquecer productos de panadería, bebidas y varias preparaciones culinarias. Se puede elaborar pan enriquecido con omega 3 adicionando un 5% en peso de semillas de chíá. También es empleada para enriquecer piensos animales para obtener carnes, leches y/o huevos con mejor perfil lipídico (más % de grasa poliinsaturada y menos % de grasa saturada y colesterol) o bien enriquecerlos con omega 3. (Bio-Ener S.L, 1996)

2.5 Caracterización de films y recubrimientos comestibles

2.5.1 Propiedades reológicas

Las medidas de viscosidad se realizan con aparatos denominados viscosímetros o reómetros. Este último término se reserva para aparatos más complejos que son capaces de explorar un amplio intervalo de esfuerzos cortantes y velocidades de corte así como de registrar variaciones de los parámetros reológicos con el tiempo.

Los reómetros funcionan provocando un flujo del material experimental y midiendo el esfuerzo generado o viceversa. Puesto que el volumen o espesor del material experimental tiene un espesor finito, en el seno del material se produce un perfil de velocidad, y no un único σ que se corresponda con el $\dot{\gamma}$ fijado, la relación entre σ y $\dot{\gamma}$ no se obtiene de forma inmediata, sino que se requiere el conocimiento previo del modelo de flujo o realizar el tratamiento adecuado.

En general, la mayoría de estos aparatos funcionan de forma automatizada y solo requieren saber la selección del programa adecuado para el tipo de fluido y rango que se desea medir.

Los siguientes conceptos se describen (Anónimo) para un mejor entendimiento de las propiedades reológicas.

2.5.1.1 Fluidos

Se caracterizan porque sus elementos se desplazan uno respecto a otro ante la aparición de un esfuerzo. El desplazamiento (concretamente, el perfil de velocidad) para un nivel de esfuerzo aplicado puede variar de muchas formas. El perfil de velocidad puede ser o no proporcional al esfuerzo. Por otra parte el fluido puede resistir un determinado nivel de esfuerzo antes de empezar a fluir. Si durante la aplicación de este esfuerzo inicial se deforma sin llegar a fluir (se recupera al cesar el esfuerzo), entonces es un fluido viscoelástico.

También puede ocurrir que para un esfuerzo constante, el tipo de flujo varíe con el tiempo. Esto es bastante habitual en los alimentos.

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

La reología de fluidos estudia la relación que existe entre la fuerza motriz que provoca el movimiento (esfuerzo cortante, σ) y la velocidad de flujo que se origina (el gradiente del perfil de velocidades, γ).

2.5.1.2 Esfuerzo cortante (σ)

Es la fuerza por unidad de área aplicada paralelamente al desplazamiento (cortante). Tiene unidades de fuerza dividido por superficie, en el SI se mide en N/m². Es homogéneo con la unidad de presión, Pa, aunque hay que recordar que a diferencia de ésta, el esfuerzo cortante es una magnitud vectorial.

El esfuerzo cortante es una magnitud microscópica ya que cambia en cada punto del perfil de velocidades.

2.5.1.3 Velocidad de corte (γ)

El esfuerzo cortante provoca el desplazamiento ordenado de los elementos del fluido, que alcanzan unas velocidades relativas estacionarias que denotaremos $V(x)$. La velocidad de corte se define como el gradiente (velocidad espacial de cambio) del perfil de velocidades

$$\text{E1.1} \quad \gamma = \frac{dx}{dV}.$$

La velocidad de corte se mide en tiempo⁻¹.

Aunque a menudo sólo se representa una componente, γ es una magnitud vectorial.

2.5.1.4 Viscosidad aparente (η)

Mide la facilidad que tiene una determinada sustancia para fluir ante la aplicación de un esfuerzo cortante en unas determinadas condiciones.

Se define como el cociente entre esfuerzo cortante y velocidad de corte

$$\mathbf{E1.2} \quad \boldsymbol{\eta} = \frac{\boldsymbol{\sigma}}{\boldsymbol{\gamma}}$$

Se mide en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$. La unidad clásica es el Poise y la más comúnmente usada es el centipoise (cP). Los fluidos Newtonianos son los de comportamiento más sencillo al presentar una viscosidad aparente constante (a $T=\text{cte}$) e independiente del esfuerzo de corte y de la velocidad de corte.

2.5.1.5 Modelos reológicos para alimentos fluidos

Observando el comportamiento de diversos fluidos (independientes del tiempo) mostrados en la figura 2, se ha caracterizado el comportamiento proponiendo diversas ecuaciones que los reproducen.

Los fluidos Newtonianos muestran una relación lineal entre σ y γ . En este caso

$$\mathbf{E1.3} \quad \boldsymbol{\sigma} = \boldsymbol{\mu} \cdot \boldsymbol{\gamma}$$

Donde μ es la “viscosidad verdadera”

Los fluidos pseudoplásticos y dilatantes muestran una relación no lineal entre σ y γ que en ambos casos se representa por la “ley de la potencia”

$$\mathbf{E1.4} \quad \boldsymbol{\sigma} = \mathbf{K} \cdot \boldsymbol{\gamma}^n$$

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

K y n son parámetros del modelo de flujo. K se denomina “índice de consistencia” mientras que n es el “índice de flujo”. Para los fluidos pseudoplásticos se cumple que $n < 1$ mientras que $n > 1$ ocurre para los dilatantes.

La ley de la potencia representa al fluido newtoniano cuando $n = 1$.

Los “plásticos de Bingham” requieren la aplicación de un esfuerzo mínimo antes de empezar a fluir, por lo que se representan bien por

$$\text{E1.5} \quad \sigma = \sigma_0 + \mu \cdot \dot{\gamma}$$

Donde σ_0 es el esfuerzo de corte necesario para iniciar el flujo.

Finalmente, los plásticos generales o de Herschel-Bulkley representan un comportamiento más general que engloba al de todos los anteriores con la ecuación

$$\text{E1.6} \quad \sigma = \sigma_0 + K \cdot \dot{\gamma}^n$$

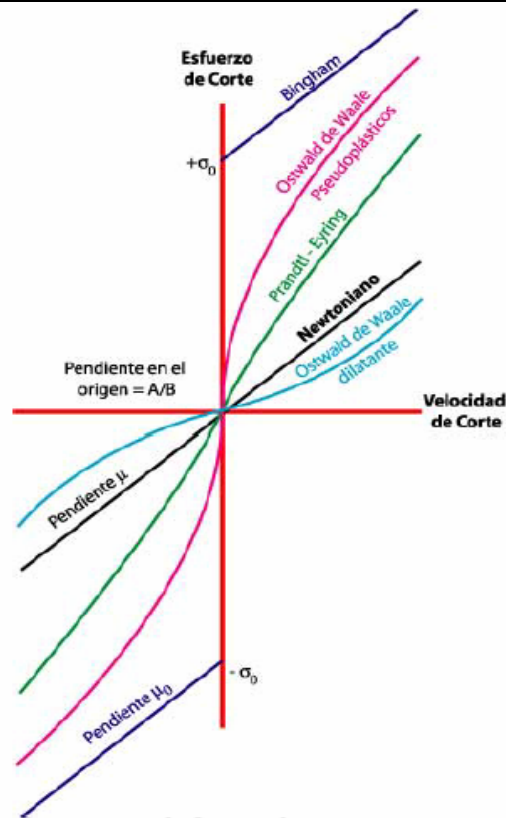


Figura 2. El comportamiento reológico en estado estacionario. **Fuente** (Ramírez 2006)

2.6 Permeabilidad

Es la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable. La velocidad con la que el fluido atraviesa el material depende de cuatro factores básicos: 1) La estructura del material: porosidad efectiva (huecos interconectados), Tamaño de los poros, sección y espesor de la película.

- 2) La densidad del fluido considerado, que puede ser afectada por la temperatura.
- 3) La presión a que está sometido el fluido.
- 4) Tiempo de exposición. (ASTM e-96, 2005)

2.6.1 Permeabilidad al vapor de agua

La permeabilidad al vapor de agua (WVP) se define como la velocidad de transmisión de vapor de agua por unidad de superficie de una área plana y por unidad de espesor, inducida por unidad de diferencia de presión de vapor entre dos superficies específicas a una temperatura y condiciones de humedad específicas (ASTM, 1995).

Es la cantidad de vapor (gramos) que pasa por unidad de superficie (m^2) de un material de espesor unitario (mm) por unidad de tiempo (h) cuando entre sus paredes existe una diferencia de presión unitaria (kPa).

Es un proceso de sorción y difusión donde el soluto-vapor es adsorbido por una de las caras de la membrana, se difunde al otro lado y después se desorbe por evaporación (Rogers, 1985). El método más utilizado para evaluar esta propiedad es el método de la copa, basado en técnicas gravimétricas, (ASTM E96, 1980).

El transporte de gases a través de la película o recubrimiento ocurre por dos mecanismos: difusión capilar y difusión activa. La difusión capilar domina en materiales porosos o que tienen imperfecciones. La difusión activa involucra la solubilización del gas permeado en la película, la difusión a través de la película y finalmente, la liberación al lado opuesto de la misma. En ausencia de imperfecciones, el gas permea a través de la película por difusión activa. Si el gas es insoluble en la película, el aumento de presión generado por su acumulación hace que en un momento dado penetre en la película y el mecanismo dominante es el flujo capilar. No se debe confundir la difusión activa con la difusión facilitada, que se refiere al mecanismo que presentan las células vivas. El primero se aplica al proceso de difusión que es dependiente de la temperatura y presenta una cierta energía de activación. La humedad relativa tiene una fuerte influencia sobre la velocidad de transmisión del oxígeno y dióxido de carbono. A mayor humedad relativa, las películas y recubrimientos comestibles presentan mayor permeabilidad a estos gases (Abraján, 2008).

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Según Donhowe y Fennema (1994) una combinación de la primera ley de difusión de Fick (Ecuación E2.1) y la ley de Henry de solubilidad (Ecuación E2.2) se utiliza para expresar la permeabilidad en estado estacionario del permeado a través de una barrera no porosa y con imperfecciones no significativas:

$$\text{E 2.1} \quad J = -D \frac{dC}{dX}$$

Donde J es el flujo permeado, D la difusividad y dC/dX es el gradiente de concentración de permeado en la película. El signo negativo significa que la migración ocurre en la dirección de mayor a menor concentración. Por otro lado, la concentración (C) del permeado en la película es el producto del coeficiente de solubilidad (S) y la presión parcial del permeado del aire adyacente (P) (Ecuación E2.2)

$$\text{E2.2} \quad C = S X P$$

Combinando ambas expresiones se obtiene la ecuación:

$$\text{E.2.3} \quad \textit{Permeabilidad} = J \frac{dX}{dP}$$

Experimentalmente la permeabilidad se puede obtener a partir de la variación de peso de permeado, en estado estacionario, mediante aplicación de la Ecuación E.2.3. El término permeabilidad y coeficiente de permeabilidad en ocasiones se consideran equivalentes (ASTM, 1980). Otro parámetro que se puede determinar es la velocidad de transmisión del vapor de agua a través del film, a partir de la variación de peso de permeado con el tiempo y por unidad de área del film.

La Ecuación E.2.4 describe la habilidad del material para servir como barrera al vapor de agua, donde W_i es la concentración de saturación del vapor de agua a la temperatura de la superficie de la película, W_a es la concentración del vapor de agua a las condiciones del ensayo y J es el flujo de vapor de agua.

E.2.4
$$\text{Resistencia} = W_i - \frac{W_a}{J}$$

2.6.2 Métodos de evaluación de la permeabilidad al vapor de agua

2.6.2.1 Estándar ASTM internacional

ASTM Internacional (American Society for Testing and Materials) es una de las organizaciones más grandes del mundo para el desarrollo voluntario de normas, una fuente confiable de normas técnicas para materiales, productos, sistemas, y servicios. Conocidas por su alta calidad técnica y relevancia en el mercado, las normas ASTM desempeñan un importante papel en la infraestructura de la información que orienta el diseño, la fabricación y el comercio en la economía mundial.

Las normas ASTM son documentos que sirven para formalizar los procedimientos, reglas o directrices a seguir por la industria. Un documento que ha sido desarrollado y establecido dentro de los principios de consenso de ASTM Internacional, y que cumpla los requisitos de aprobación de los procedimientos y las normas ASTM, puede convertirse en una de las normas de ASTM Internacional. Dentro de la gran recopilación de métodos estándares ASTM, encontramos una de utilidad para determinar la permeabilidad al vapor de agua. El objetivo de las pruebas en esta norma es obtener, por medio de aparatos simples, fiables valores de transferencia de vapor de agua a través de materiales permeables y semipermeables, expresada en unidades adecuadas. Estos valores son para el uso en el diseño, fabricación y comercialización de materiales. Un valor de permeabilidad obtenido en virtud de una serie de condiciones de prueba no puede indicar el valor de un conjunto diferente de condiciones. Por esta razón, las condiciones de prueba deben seleccionarse según las circunstancias de uso que más se acerquen a la utilidad.

Las pruebas bajo el método ASTM-E96 para la medición de la permeabilidad al vapor de agua son realizadas con una película de muestra, la cual se emplea como cierre de un tubo de ensayos, que contiene desecante o agua, luego se coloca el montaje en una atmósfera controlada. La unidad de prueba se pesa

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

periódicamente y el peso se representa gráficamente como una función de tiempo. La transmisión de vapor de agua se toma como la pendiente de la curva (en la región lineal) dividida por el área de apertura y, para obtener finalmente el valor que representa la permeabilidad al vapor de agua.

2.6.2.2 División del método ASTM E96/ E 96M-05

2.6.2.2.1 ASTM E96/ E 96M-05/Desecante

La muestra de prueba se sella en la boca abierta de un tubo de ensayos que contiene un desecante en el fondo y luego se coloca el montaje en una atmósfera controlada. (Figura 3) Se pesa periódicamente para determinar la tasa de vapor de agua de circulación a través de la muestra de la atmósfera controlada en el desecante.

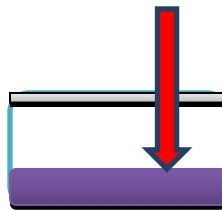
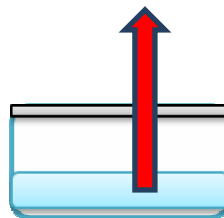


Figura 3.Diagrama del método ASTM E96/ E 96M-05/Desecante para medir permeabilidad.

2.6.2.2.2 ASTM-E96/ E 96M-05/Agua

La muestra de prueba se sella en la boca abierta de un tubo de ensayos que contiene agua y luego se coloca el montaje en una atmósfera controlada. (Figura 4). Se pesa periódicamente para determinar la tasa de vapor de agua de circulación a través de la muestra, desde el agua hacia la atmósfera controlada.



Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

Figura 4. Diagrama del método ASTM-E96/ E 96M-05/Agua para medir permeabilidad al vapor de agua.

2.6.2.2.3 ASTM-E96/ E 96M-05/Agua Invertida

El procedimiento es igual al método de agua, salvo que en la prueba se coloca el tubo invertido para que el agua esté en contacto con la muestra. (Figura 5)

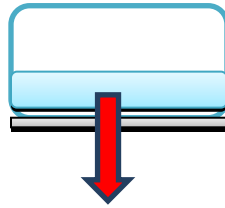


Figura 5. Diagrama del método ASTM-E96/ E 96M-05/Agua Invertida para medir permeabilidad al vapor de agua.

2.7 Propiedades térmicas (Calorimetría de barrido diferencial DSC)

La calorimetría de barrido diferencial es una técnica de análisis térmico basada en la medición cuantitativa del calor absorbido o liberado por una muestra cuando esta es calentada enfriada o permanece a temperatura constante. La energía absorbida o liberada por la muestra se debe a que el material sufre un cambio físico (fusión, cristalización de estructuras cristalinas etc.) o químico (síntesis, descomposición) y es compensada por la adición o sustracción de una cantidad equivalente de energía eléctrica la cual actúa a través de un calentador localizado en el portamuestras (Kampt, 1986)

La finalidad de los sistemas térmicos diferenciales es registrar la diferencia entre el cambio de entalpía que tiene lugar entre una muestra y algún material inerte de referencia cuando ambos son calentados. Los instrumentos térmicos diferenciales se clasifican en: DTA clásico, "Boersma" DTA y DSC. En los dos primeros la muestra y la referencia se calienta utilizando una sola fuente de calor y la temperatura se mide por termopares que se localizan dentro del recipiente (DTA

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

clásico) o acopladas a la superficie exterior del recipiente (Boersma). Estos instrumentos miden la diferencia de temperatura entre la muestra y la referencia; los datos se presentan en un gráfico de diferencia de temperatura en función del tiempo de calentamiento (Lund, 1983).

El dispositivo experimental consta de dos cámaras aisladas térmicamente, una contiene la muestra a ser analizada y la otra actúa como referencia. Cada cámara tiene su propio sensor de temperatura el cual generalmente está construido de una aleación de Pt/Ir. Además cada una de las cámaras tiene una resistencia eléctrica para proporcionarle energía eléctrica en términos de calor (Mc Naughton y Mortimer, 1975)

El valor de temperatura que corresponde al punto máximo de la endoterma de fusión se denomina temperatura de fusión de la fase cristalina y a la temperatura del punto mínimo de la exoterma de cristalización se le conoce como temperatura de cristalización.

La calorimetría de barrido diferencial puede utilizarse también en la medición de propiedades físicas de muestras sólidas tales como la conductividad térmica, conductividad eléctrica, emisividad térmica, capacidad calorífica y pureza (Mc Naughton y Mortimer, 1975)

El término calorimetría diferencial de barrido (DSC) se confundía inicialmente con el análisis diferencial térmico (DTA), técnica pionera en el análisis térmico (Lund, 1983).

En el DSC, la muestra y la referencia se calientan independientemente, por lo que se puede medir directamente la diferencia en flujo de calor para mantener una temperatura igual en ambas. Así, los datos se obtienen en forma de entradas diferenciales de calor (dH/dt) en función de la temperatura. Con estos datos se pueden obtener temperaturas y entalpías de transición o de reacción. Algunas recomendaciones para la operación del DSC son las siguientes (Lund, 1983).

a) La mayoría de sistemas de DSC, utilizan portamuestras de muestreo de aluminio que permiten el análisis de 10-20 μ l de muestra. Para obtener un pico definido y

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

con alta resolución se recomienda que la superficie de contacto entre el recipiente y la muestra sea la máxima, lo cual se logra si la muestra se prepara en forma de discos delgados, laminas o polvo fino; en materiales biológicos, la muestra frecuentemente se dispersa en agua.

b) La calibración del instrumento se lleva a cabo con un metal de alta pureza, con su entalpía y su punto de fusión conocidos, generalmente se utiliza Indio (ΔH fusión = 28.55 J/g; p.f.= 429,8 K).

c) La determinación de la entalpía del proceso bajo estudio requiere la medición del área endo/exo térmica, lo cual puede ser difícil debido a que la línea base no es horizontal y el pico generalmente no es simétrico

2.8 Propiedades mecánicas

Es importante la evaluación de las propiedades mecánicas de los films y recubrimientos ya que permiten determinar la integridad que presentaran durante su manejo, envasado y transporte (Rowe, 1978). Para evaluar las propiedades mecánicas, como la resistencia a la fractura o la deformabilidad del film, se realizan ensayos de extensión con una máquina universal de ensayos mecánicos (AFNOR NF T51-100,1971; ISO 6239, 1988; ASTM D882, 1988) o el análisis dinámico termomecánico, para evaluar las relaciones entre la fuerza de tensión, elongación, deformación y módulo de elasticidad (Gennadios y Weller, 1993; Park *et al.*, 1993; Debeaufort *et al.*, 1995).

En general los ensayos tradicionales de firmeza miden la fuerza que opone un material biológico al ser perforado o comprimido hasta cierta profundidad y deformación (Buitrago *et al.*, 2004).

Los siguientes términos son adaptados por Barreiro (1996) para una mejor comprensión de los ensayos mecánicos:

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

La Deformación unitaria es el cambio de tamaño o forma de un cuerpo referido a su tamaño o forma original (adimensional, m/m).

La Tensión es la intensidad en un punto de un cuerpo de las fuerzas internas o componentes de dichas fuerzas que actúan sobre un determinado plano que contiene dicho punto (N/mm^2).

La Resistencia es la tensión máxima que un material es capaz de soportar (N/mm^2); tensión de compresión, de tracción o de esfuerzo cortante. La resistencia a la compresión, tracción o corte se calcula a partir de la carga, máxima durante un ensayo de compresión/tensión llevado a cabo hasta la rotura/ corte o torsión, y del área de la sección transversal inicial o dimensiones originales de la sección transversal de la probeta.

El Limite elástico es la tensión máxima que un material puede soportar sin mostrar deformación unitaria permanente al eliminar completamente el origen de la tensión (N/mm^2).

El Punto o límite de fluencia es la primera tensión de un material, menor que la máxima alcanzable, para la cual se produce un incremento de la deformación unitaria sin incremento de la tensión (N/mm^2) puede ser relacionado con la rotura de la microestructura del material.

El Punto de rotura es el punto de la curva fuerza-deformación o tensión-deformación unitaria para el que se produce una rotura en la macroestructura del espécimen (N, m) o (N/mm^2 , m/m).

La Deformación permanente es la deformación unitaria restante tras la completa eliminación de la carga causante de la deformación (adimensional, m/m); también se denomina deformación plástica.

Módulo de elasticidad o Modulo de Young es la relación tensión/deformación unitaria por debajo del límite proporcional o elástico (N/mm^2 : m/m) (Barreiro 1996)

El valor del módulo de Young es característico de cada material y es independiente de la forma y tamaño de la muestra empleada en su medición. Es un indicador de la resistencia que tiene un material sometido a un esfuerzo de tensión o

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

compresión y se interpreta como la máxima fuerza que se puede aplicar al material sin romperlo (Pytel y Singer, 1994).

2.9 Color y brillo

La apariencia (brillo, transparencia, color, opacidad) depende de la naturaleza del componente formador de la matriz del film, pero está muy afectada por la presencia de componentes no miscibles que sufren los procesos de desestabilización mencionados durante la formación de la película.

La apariencia es otro de los factores de calidad decisiva para la aceptación de un producto por parte del consumidor, por lo que el color, la translucidez y el brillo, son importantes para evaluar su aplicabilidad de los films como recubrimientos comestibles (Nussinovitch *et al.*, 1996, Cuq *etal.* 1996). Las propiedades ópticas de los films: color, opacidad y brillo son importantes ya que afectan al aspecto del producto recubierto y por tanto determinan la factibilidad de su uso.

Cuando la luz incide sobre la superficie de un objeto, es reflejada, absorbida o transmitida como resultado de las interacciones de la luz-objeto que determinan el color, el brillo y la transparencia que presenta la superficie del objeto (Hutchings, 1999).

El brillo se define como la intensidad de luz reflejada especularmente de una superficie comparado con una intensidad de luz que es reflejada de una superficie estándar conocida a un cierto ángulo de incidencia (ASTM, 1995). Se mide mediante la reflexión especular de la luz sobre una superficie a un determinado ángulo de incidencia. Se determina mediante la relación de la intensidad de la luz incidente reflejada en su punto de impacto en la superficie del producto.

La opacidad del film se puede determinar midiendo el espectro de absorbancia (400-800 nm) de la muestra con un espectrofotómetro. El área bajo la curva se define como la opacidad de la muestra en nm (Maftoonazad, *et al.*, 2007a). Este parámetro puede dar indicios indirectos de la estructura del film: estructuras rugosas, generalmente son más opacas.

2.10 Análisis Infrarrojo (FTIR)

El análisis infrarrojo permite conocer los grupos funcionales de compuestos orgánicos. A través de esta técnica se puede interpretar el espectro y compararlo con bases de datos especializadas para determinar la presencia de grupos funcionales definidos en la estructura molecular (Pretsch, 2000).

La espectroscopía molecular es el estudio de la interacción de la radiación electromagnética con la materia. Dependiendo de la región del espectro en la que se trabaje y, por tanto de la energía de la radiación utilizada (caracterizada por su longitud o número de onda), esta interacción será de diferente naturaleza. La molécula, al absorber la radiación infrarroja, cambia su estado de energía vibracional y rotacional. Las transiciones entre dos estados rotacionales requieren muy poca energía, por lo que solo es posible observarlas, específicamente, en el caso de muestras gaseosas. En el caso del estudio del espectro infrarrojo de muestras sólidas y líquidas, sólo se tienen en cuenta los cambios entre estados de energía vibracional, lo que hace posible la caracterización de los principales grupos funcionales de la estructura molecular de un compuesto. Aunque el espectro infrarrojo se extiende desde 10 a 14000 cm^{-1} , aproximadamente, desde el punto de vista funcional y de sus aplicaciones se divide en tres zonas: IR lejano, IR medio y el IR cercano (Torres, 2013).

2.11 Espesor

El espesor de la película depende esencialmente del método de aplicación y de la viscosidad de la solución. Soluciones con viscosidad alta no pueden ser extendidas fácilmente y solamente se pueden aplicar por moldeado alrededor del producto o inmersión, dando recubrimientos gruesos (Fellows, 1990).

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

El espesor de la película también es un factor importante que afecta los valores de permeabilidad. La transferencia de vapor de agua en un recubrimiento emulsificado disminuye al incrementar la hidrofobicidad, ya que el paso de vapor de agua ocurre preferentemente a través de la matriz hidrofóbica (Ruiz, 2004. Citado por Butrón 2012).

CAPITULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materia prima

Para la realización de las películas comestibles se emplearon pectina cítrica comercial (Sigma, Aldrich) con un grado de metoxilación de 7.25, y mucílago de chía (*Salvia hispánica*).

3.2 Producción de mucílago de chía

La semilla de *Salvia hispánica* se hidrató con agua destilada en una proporción 0.5:5 (p/v) durante 90 minutos a una temperatura de 37°C con agitación constante (Janke and Kunkel, IKA-WERK, RW-20) a una velocidad de 500 rpm. Posteriormente se molió en una licuadora a velocidad baja por 10 segundos y se centrifugó (Centrífuga Sorvall Evolution Rc) a 1200 rpm durante 30 minutos a una temperatura de 25°C (Figura 6). Finalmente se filtraron las semillas dispersas en el sobrenadante.



Figura 6. Mucílago de semilla de *Salvia hispánica* extraído por centrifugación.

3.3 Elaboración de películas comestibles

3.3.1 Elaboración de películas de pectina cítrica

A agua destilada a 70°C se le adicionó CaCl_2 y se agitó vigorosamente hasta que alcanzó una temperatura de 90°C. Una vez mantenida esta temperatura se le adicionó la pectina cítrica (Sigma Aldrich con grado de metoxilación 7.25) a diferentes concentraciones (cuadro 1) y el plastificante (glicerol); se mantuvo la temperatura de 95°C hasta que se homogenizaron por completo los componentes de la película. Una vez que se enfrió la solución se colocaron 30 mL en cajas Petri de plástico (9 cm de diámetro) y finalmente se secaron en una estufa (Sanyo Incubator MIR-253) a una temperatura de 40°C por 24 h.

Cuadro 1. Concentraciones de pectina cítrica empleadas para la elaboración de películas comestibles.

Pectina cítrica comercial (%)	CaCl_2 (%)	Plastificante (%)
0.4	0.1	1.7

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

0.5	0.1	1.7
0.6	0.1	1.7
0.7	0.1	1.7
0.8	0.1	1.7
0.9	0.1	1.7
1	0.1	1.7
1.5	0.1	1.7
2.0	0.1	1.7

3.3.2 Elaboración de películas de mucílago de chía

El CaCl_2 se disolvió en agua destilada controlando la temperatura a 50°C , posteriormente se adicionó el mucílago a diferentes concentraciones (cuadro 2) y se siguió agitando, finalmente se adicionó el plastificante (glicerol) al 1%. Se enfrió la solución a una temperatura de 40°C y se colocaron 30 mL de la solución obtenida en cajas Petri de plástico (9 cm de diámetro) distribuidos de manera homogénea. Finalmente se secaron en una estufa (Sanyo Incubator MIR-253) a 40°C durante 24h.

Cuadro 2. Concentraciones de mucílago de chía (*Salvia hispánica*) empleadas para la elaboración de películas comestibles.

Concentración del mucílago (%)	CaCl_2 (%)	Plastificante (%)
21	0.2	1
23	0.2	1
25	0.2	1
30	0.2	1

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

35	0.2	1
40	0.2	1

3.4 Caracterización de películas comestibles

3.4.1 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas evaluadas fueron la resistencia a la ruptura, la deformación de las películas y el módulo de elasticidad (módulo de Young).

Se empleó un texturómetro TA-XT plus, Stable Micro Systems (figura 7) para la obtención de los datos experimentales se utilizó una celda esférica de carga de 30 kg y pinzas de tensión A/TG empleando una distancia de retorno de 20 mm, a una velocidad de 2 mm/segundo Se analizaron muestras de películas en forma rectangular de 3.6 cm de ancho X 5 cm de largo (acondicionadas con cinta adhesiva para darle forma de hueso).

Los datos se analizaron empleando el programa Texture Exponent 32 obteniendo parámetros como la fuerza máxima antes del rompimiento y la distancia recorrida por la célula (a partir del contacto con la muestra y hasta el momento antes de la ruptura), obteniendo así curvas de fuerza-distancia que fueron transformados en curvas de esfuerzo-deformación utilizando las ecuaciones E3.1, E3.2 y E3.3 que describen la Ley de Hooke (Tippens, 1987).

$$\text{E3.1} \quad E = \sigma / \xi$$

$$\text{E3.2} \quad \sigma = \frac{F}{A}$$

$$\text{E3.3} \quad \xi = \frac{\Delta l}{l} \times 100$$

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Donde E = módulo de elasticidad (N/mm^2), σ = esfuerzo longitudinal (N/mm^2), ξ = deformación específica longitudinal (adimensional), F = fuerza aplicada (N), A = área transversal inicial del film (mm^2), Δl = elongación, l = longitud inicial

De las gráficas, se obtuvo la resistencia a la ruptura, el porcentaje de deformación y el módulo de elasticidad (Young) o pendiente de la curva en el tramo lineal inicial.



Figura 7. Texturómetro TA-XT plus empleado para análisis de propiedades mecánicas de películas comestibles.

3.4.2 Propiedades térmicas

Se empleó un calorímetro diferencial de barrido TA Instruments (Modelo DSC-Q). La calibración de la temperatura y del flujo de calor se realizó con un material de resistencia. Muestras de películas de 5 mg fueron pesadas en cápsulas de aluminio, las cuales posteriormente fueron selladas herméticamente (figura 8). La velocidad de calentamiento del equipo fue de $10^{\circ}C/min$, en un intervalo de temperaturas de $0-100^{\circ}C$. La temperatura de fusión, la temperatura de

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

cristalización y la temperatura de transición vítrea fueron tomadas directamente de los termogramas obtenidos.



Figura 8. Calorímetro de barrido diferencial TA Instruments Modelo. DSC Q y capsulas de aluminio conteniendo las muestras de películas comestibles.

3.4.3 Propiedades reológicas

La viscosidad, se analizó empleando un viscosímetro digital Brookfield modelo DV-II (Brookfield Engineering Lab. Stoughton, MA), equipado con un spindle LV no. 01 (figura 9), realizando un barrido de velocidad desde 5 rpm hasta 100 rpm a temperatura constante (25° C). Las mediciones fueron realizadas por triplicado.



Figura 9. Viscosímetro digital empleado para analizar las propiedades reológicas de las películas comestibles.

3.4.4 Actividad de agua

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

La actividad acuosa (A_w) se determinó empleando un Lab Master-Aw Estándar (Modelo Novasina) con una dimensión de 26 X 44 cm. Las muestras fueron analizadas por triplicado a una temperatura de 25°C.



Figura 10. Analizador de A_w Lab Master-Aw Estándar Modelo Novasina.

3.4.5 Análisis de Infrarrojo FTIR

Los espectros fueron obtenidos empleando un instrumento Spectrum 400 Perkin Elmer (figura 11) equipado con una reflexión simple de puerta de diamante atenuado por un doble detector DTGS (sulfato de triglicina deuterada) como temperatura estabilizada, colocando en el compartimiento de la muestra con una resolución de 1 cm^{-1} . Se realizó un barrido de 500 a 4000 cm^{-1} . Todos los espectros fueron normalizados y fue corregida la línea base con un software Perkin-Elmer. Posteriormente, los datos fueron exportados a Sigma Plot. Para este análisis se emplearon películas comestibles secadas a 60°C durante 24 h.



Figura 11. Espectrofotómetro Infrarrojo por transformadas de Fourier para análisis de películas comestibles.

3.4.6 Permeabilidad a gases (CO₂ y O₂)

La prueba de permeabilidad de gases se realizó mediante el empleo de un analizador de CO₂ y O₂ Chekmate 9900 PBI Densensor (figura 12). Para este análisis se utilizó un fruto modelo de la temporada (*Pyrus communis*) con un grado de maduración para consumo el cual fue medido con un refractómetro digital Atago (modelo DBX-30). Este experimento se dividió en tres tratamientos (T1, T2 y T3).

Las peras (*Pyrus communis*) del T1 se colocaron dentro de un frasco de vidrio cerrado herméticamente por 90 minutos a una temperatura de 20°C, posteriormente se midió la cantidad de oxígeno consumido y la cantidad de dióxido de carbono liberado.

A las peras del T2 se les aplicó la película comestible de mucílago de chíá. Se prepararon soluciones del mucílago a las concentraciones de 21%, 30% y 40% mediante un sumergido de 1 minuto, posteriormente se secaron a temperatura de 20°C y se colocaron dentro de los frascos herméticos durante 90 minutos a 20°C y se midió la cantidad de oxígeno consumido y la cantidad de dióxido de carbono liberado.

A las peras del T3 se les aplicó la película comestible de mucílago de pectina cítrica. Se prepararon soluciones de pectina a las concentraciones de 0.5, 1.0 y 2.0% mediante un sumergido de 1 minuto, posteriormente se secaron a temperatura de 20°C y se colocaron dentro de los frascos herméticos durante 90 minutos a 20°C y se midió la cantidad de oxígeno consumido y la cantidad de dióxido de carbono liberado. Cada una de las pruebas se realizó por triplicado.

Los datos obtenidos en porcentajes fueron transformados a mg/kg-h empleando la ecuación E.4.1.

$$E4.1. \quad \frac{mL}{L(CO_2)} \left(\text{volumen libre} \frac{L}{\text{peso}(kg)} \right) \left(\frac{1}{\text{tiempo}(h)} \right)$$



Figura 12. Frascos de vidrio con peras y analizador de oxígeno y dióxido de carbono.

3.4.7 Permeabilidad al vapor de agua (WVP)

La permeabilidad al vapor de agua de las películas se determinó usando una modificación del método ASTM E96-05 (ASTM, 2005).

Se utilizaron células de permeabilidad, la película se colocó en la célula de permeabilidad a manera que la cara del film correspondiente a la superficie de secado libre estaba expuesta al ambiente con 100 % de HR, dentro de dichas células se colocaron 4 g de silica gel deshidratada. Las células con el film y el agente higroscópico se introdujeron en recipientes herméticos sobre una base de malla plástica que contenían 250 ml de agua destilada para propiciar el ambiente a la humedad relativa del 100% (figura 13).

Las muestras se pesaron durante 9 h a intervalos de 1 h entre cada pesada. Se hicieron 3 repeticiones para cada formulación del film en todas las concentraciones.

Se determinaron los valores de la velocidad de transmisión de vapor de agua (VTVA), correspondiente a la pendiente de la curva obtenida del análisis de regresión lineal de los datos de ganancia de peso en función del tiempo, (Ecuación

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

E5.1). La Ecuación permite obtener el valor de la permeabilidad al vapor de agua (WVP) en cada caso.

$$E5.1 \quad WVP = \frac{(Slope)(L)(24)}{(A)(VP)}$$

Donde

Slope = pendiente

L= grosor de la película (mm)

A = área de permeación de la película

VP = la presión entre el interior y el exterior del sistema.



Figura 13. Celdas de permeabilidad utilizadas y cajas herméticas con celdas en estufa de secado a 20°C

3.4.8 Solubilidad en agua

Un trozo de 0.2 g de película se colocó en un tubo que contenía 2 ml de agua destilada a 20°C. El sistema se mantuvo durante 30 min, se tomaron lecturas midiendo los ° Brix de la fase acuosa cada 5 minutos agitando antes de tomarlas. La determinación se hizo por triplicado, para cada formulación de los films.

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

3.4.9 Color

El color de las muestras se evaluó utilizando un colorímetro (Konica Minolta modelo CR-400)(figura 14) las muestras se colocaron sobre fondo blanco y se determinaron las coordenadas L^* , a^* , b^* para cada formulación y a las distintas concentraciones de pectina y mucílago utilizadas, se hicieron lecturas en tres diferentes puntos del film y se midieron 3 films diferentes.



Figura 14. Colorímetro Konica Minolta modelo CR-400.

3.4.10 Espesor

Se determinó mediante el empleo de un micrómetro digital (Mitutoyo) con una sensibilidad de 0.0001 mm se midió el espesor de las películas (figura 15). Se tomaron 9 mediciones en varios puntos aleatorios de las películas, calculando posteriormente el promedio para cada muestra.



Figura 15. Micrómetro digital empleado para medir el espesor de las películas comestibles.

3.4.11 Análisis estadístico

Los datos experimentales fueron analizados mediante el software estadístico Minitab versión 16 mediante un ANOVA por comparación de medias.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Producción de mucílago de chía (*Salvia hispánica*)

Para la producción de mucílago de chía (*Salvia hispánica*) en los experimentos preliminares se molía la semilla con agua y se filtraba bajo condiciones de vacío, el cual representa un método económico pero lento ya que en promedio se filtraban 100 mL/60 minutos. Sin embargo, este método se mejoró empleando el proceso de centrifugación, el cual permite la separación de la cascarilla, por lo que mediante una separación de fases se logró eficientar la obtención del mucílago de chía y aumentar hasta en un 50% su rendimiento.

4.1.1 Elaboración de películas de pectina cítrica

Las películas elaboradas a base de pectinas de bajo metoxilo son empleadas ampliamente como cubiertas o filmógenos. Las películas obtenidas a

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

partir de estos polisacáridos son transparentes, inodoras, y ligeramente saladas si se les aplica sales de calcio. Sin embargo, las propiedades mecánicas y protectoras que presentan son deficientes, por lo que sus aplicaciones se ven limitadas a ser empleadas a mejorar el aspecto, protección contra enranciamiento contra frutos secos, etc. (Guilbert y Biquet, 1995).

La figura 16 muestra la fotografía de las películas de pectina cítrica comercial obtenidas a las diversas concentraciones analizadas (0.4%, 0,5%,0.6%,0.7%,0.8%,0.9%,1%,1.5% y 2%), en las cuales podemos observar a simple vista que en el color que presentan entre grisáceo o amarillo (cuadro 12) está en función de la concentración, la textura que presentan las películas es similar en todas las concentraciones (lisa); sin embargo, no presentan homogeneidad en grosor (cuadro 3), lo cual puede influir altamente en las propiedades mecánicas y actividad de agua de las mismas.



Figura 16. Películas comestibles a base de pectina cítrica comercial en concentración de 0.4%, 0,5%,0.6%,0.7%,0.8%,0.9%,1%,1.5% y 2%.

4.1.2 Elaboración de películas de chíá (Salvia hispánica)

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

El contenido de fibra, luego de la extracción de aceite de chía, representa alrededor de un 40%, de la cual un 5% corresponde a fibra soluble, denominada mucílago (Lin, 1994). Las semillas de chía al ser sumergidas en agua, quedan envueltas por un material de aspecto gelatinoso conocido como mucílago, el cual es de interés no sólo desde el punto de vista nutricional sino de importancia como agente espesante en la industria alimentaria; lo cual representa una alternativa para la producción de películas comestibles a base de este polímero (figura 17).

Dicho mucílago es un tetrapolisacárido lineal compuesto por D-xilosa, D-glucosa, 4-o-metil-D-ácido glucurónico en proporciones de 2:1:1, cuyo peso molecular varía entre 0.8 y 2.0×10^6 Da, presentando una elevada viscosidad en agua (Lin, 1994).

Las películas elaboradas con mucílago de chía son más pegajosas que las de pectina cítrica debido al nivel de viscosidad que presenta el mucílago (figura 23), que es superior a la viscosidad de las soluciones de pectina cítrica, la viscosidad de las soluciones puede mejorar el proceso de adhesión del recubrimiento en los alimentos, pero dificulta su manipulación como película.

El color obtenido de las películas de mucílago de chía al igual que el de las de pectina cítrica están en función de la concentración; sin embargo, existen otros factores como la técnica (proceso) de extracción del mucílago que pueden afectarlo, ya que algunos componentes de la semilla de chía pueden ir dispersos en la solución para formar las películas, como la presencia de cascarilla o semilla molida. Todo esto afecta las propiedades mecánicas de la película, ya que propician que la textura que no sea completamente lisa y uniforme.

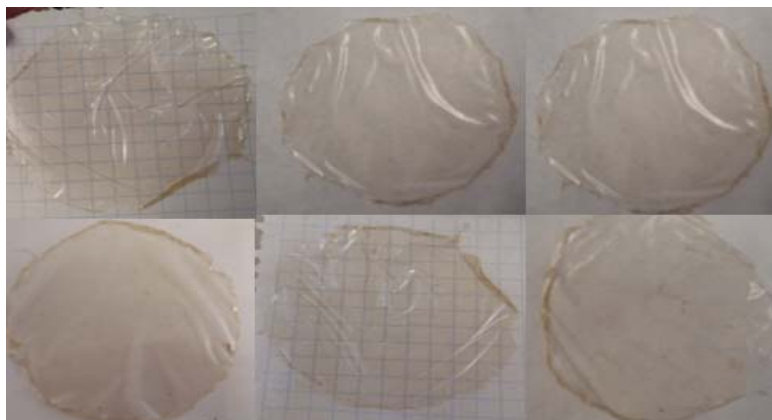


Figura 17. Películas comestibles a base de mucílago de *Salvia hispánica* a concentraciones del 21%, 23%, 25%, 30%, 35% y 40%.

4.2 Caracterización de películas comestibles

4.2.1 Espesor

En los cuadros 3 y 4 podemos observar que el espesor de las películas de pectina cítrica y de mucílago de chíá, el espesor en los films de pectina es proporcional a la concentración, a medida que aumenta la concentración del polímero aumenta el espesor de la película, las diferencias significativas se observan entre las concentraciones utilizadas de polímero más bajas y las más altas (anexo VI), el mismo comportamiento se cumple con las películas de chíá, el espesor es significativamente diferente a medida que aumenta la concentración (anexo VI). En el cuadro 11 se presentan los espesores de películas elaboradas con otro tipo de materiales, que comparados con los valores obtenidos se encuentran dentro del mismo rango de 0.02 mm a 0.11 mm. El espesor obtenido en ambas películas puede ser debido a la cantidad de sólidos solubles presentes en la solución formadora de la película, así que entre más sólidos solubles presentes será mayor el grosor.

Cuadro 3. Espesor de las películas elaboradas a partir de pectina cítrica.

Concentración de pectina (%)	Espesor (mm)
0.4	0.0508±0.0087
0.5	0.0503±0.0150
0.6	0.0518±0.0205

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

0.7	0.0691±0.0086
0.8	0.0770±0.0225
0.9	0.1260±0.0336
1.0	0.1265±0.0404
1.5	0.1446±0.0339
2.0	0.1575±0.0241

Cuadro 4. Espesor de las películas elaboradas a partir de mucílago de chíá.

Concentración de mucílago (%)	Espesor (mm)
21	0.0567±0.0038
23	0.0585±0.0042
25	0.0629±0.0055
30	0.0651±0.0083
35	0.0718±0.0059
40	0.0761±0.0068

4.2.2 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de las películas comestibles tienen un impacto en la flexibilidad y estabilidad a cambios de temperatura, físicos y ambientales. La fuerza y el porcentaje de elongación al quiebre, son las dos propiedades mecánicas más comúnmente medidas o determinadas. La fuerza ténsil expresa el estrés máximo desarrollado en una película al someterse a una prueba de tensión, mientras que el valor de elongación representa la habilidad de estirarse (Gennadios, 1994).

El plastificante es un factor muy importante en la formulación de las películas, ya que afectan las propiedades mecánicas y la permeabilidad de las películas, debido a que alteran la estructura de las películas, la movilidad de la cadena, y los coeficientes de difusión de gas o agua (Guilbert, 1986). Por

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

consiguiente el plastificante origina un descenso en la fragilidad, con el consiguiente aumento en la flexibilidad (McHugh y Krochta, 1994a).

Los resultados obtenidos en la caracterización mecánica para las películas de pectina y de mucílago de chía se pueden observar en los cuadros 5 y 6 respectivamente.

Cuadro 5. Propiedades mecánicas de las películas de pectina cítrica a diferentes concentraciones.

Cuadro 6. Propiedades mecánicas de las películas de *Salvia hispánica* a diferentes concentraciones.

Concentración de pectina (%)	Módulo de Young (N/mm ²)	Deformación (%)	Esfuerzo máximo (N/mm ²)	Actividad acuosa	Espesor (mm)
0.4	0.1312	9.956	0.7981	0.4270±0.0528	0.0508±0.0087
0.5	0.1870	11.716	0.7607	0.3770±0.1097	0.0503±0.0150
0.6	0.2295	14.476	1.4337	0.3556±0.0133	0.0518±0.0205
0.7	0.1432	19.116	1.0697	0.3440±0.0453	0.0691±0.0086
0.8	0.1195	18.858	1.1565	0.3335±0.0247	0.0770±0.0225
0.9	0.0982	18.756	1.0742	0.3210±0.0667	0.1260±0.0336
1.0	0.0907	18.196	1.0652	0.3076±0.0110	0.1265±0.0404
1.5	0.0571	13.816	2.1944	0.2783±0.0231	0.1446±0.0339
2.0	0.0081	21.554	4.8777	0.2516±0.0351	0.1575±0.0241

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Concentración de mucílago de chía (%)	Módulo de Young (N/mm ²)	Deformación (%)	Esfuerzo máximo (N/mm ²)	Actividad acuosa	Espesor (mm)
21	0.3328	35.974	2.2641	0.3277 ±0.0176	0.0567±0.0038
23	0.5563	23.014	9.0855	0.4173±0.0127	0.0585±0.0042
25	0.7064	14.976	10.6045	0.3477±0.0156	0.0629±0.0055
30	0.9988	16.236	12.1492	0.3410±0.0125	0.0651±0.0083
35	0.814	19.4553	14.6796	0.3590±0.0110	0.0718±0.0059
40	1.16121	17.736	13.8284	0.4733±0.0031	0.0761±0.0068

Tanto en las películas de pectina como en las de chía se observa que a medida que aumenta la concentración incrementa el esfuerzo máximo (fuerza ténsil), esto puede ocurrir debido a que hay más interacción entre los enlaces de sus componentes, lo que implica una mayor fuerza para lograr una elongación.

En las películas de pectinacíttrica para todas sus concentraciones el valor del esfuerzo máximo disminuye al aumentar la actividad de agua (Cuadro 5); es decir, la absorción de agua en la matriz de la pectina la vuelve más blanda y menos resistente a la ruptura, debido al efecto como solvente de enlaces y compuestos del agua en la matriz polimérica.

Dentro de la composición del mucílago de chía se encuentran aceites esenciales lo que influyen también en gran medida en el comportamiento mecánico del film ya que son más deformables durante la extensión del film, permitiendo en mayor proporción su flexibilidad, como lo podemos observar en el cuadro 6, que los mayores porcentajes de deformación los tienen las películas elaboradas con mucílago de chía (anexo III).

Las películas de chía en una concentración del 21% presentan la mayor deformación con el menor esfuerzo aplicado, y se puede observar que a medida que aumenta la concentración, se incrementa el esfuerzo aplicado; sin embargo, la deformación disminuye, lo que provoca contar con un material menos elástico si aumentamos la concentración de mucílago, aunque más resistente.

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

En cuanto a las películas de pectina, la película del 2% presentó los mayores valores de deformación pero también los máximos valores de esfuerzo aplicado, de igual forma la película de menor concentración presentó la menor deformación y el menor esfuerzo aplicado; es decir, la elasticidad de la película es proporcional a la concentración de pectina (cuadro 5).

Resultados similares fueron reportados por Maftoonazad *et al* 2007^a que elaboró películas mezclando la pectina con sorbitol y cera de abeja y obtuvo que la fuerza de tensión aumenta al aumentar el contenido de pectina y disminuir el contenido de sorbitol y el módulo de elasticidad y el porcentaje de elongación en la ruptura aumenta cuando aumenta tanto el contenido de pectina como el de sorbitol.

En las figuras 15 (curvas de esfuerzo vs deformación de los films de pectina) y 16 (curvas de esfuerzo vs deformación de films de mucílago de chía) podemos observar las pendientes de las curvas de esfuerzo-deformación que representan el módulo de Young. El módulo de elasticidad representa la rigidez intrínseca del film (Chen, 1995), por lo tanto a medida que el módulo de elasticidad disminuye se necesita menor esfuerzo para deformar un material, se puede observar que la película con mayor elasticidad es la de 21% para chía y la de 0.8% para pectina cítrica.

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

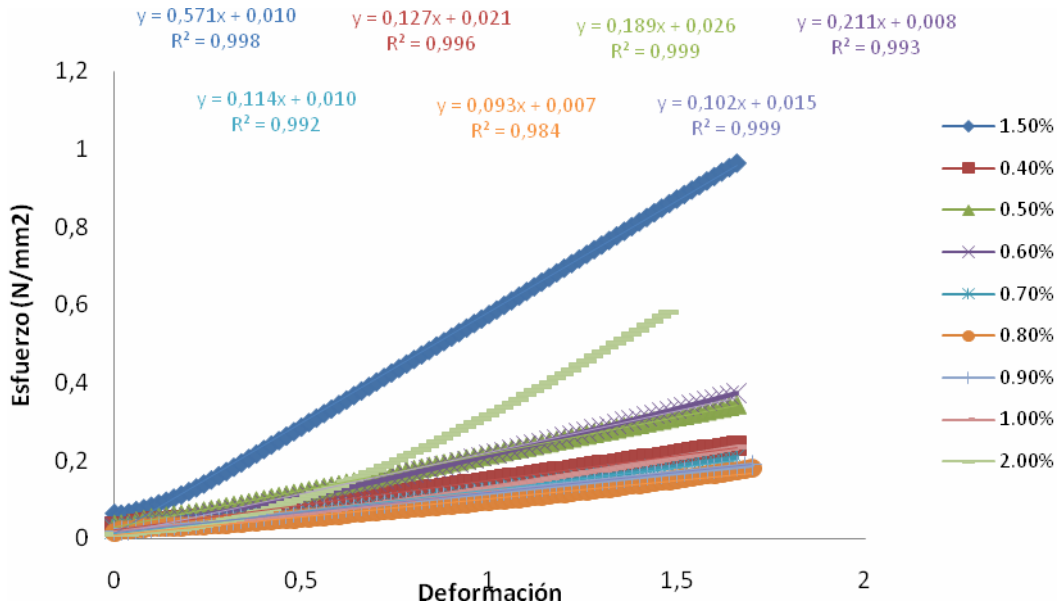


Figura 18. Gráfico de esfuerzo vs deformación que representan el módulo de Young en películas de pectina cítrica.

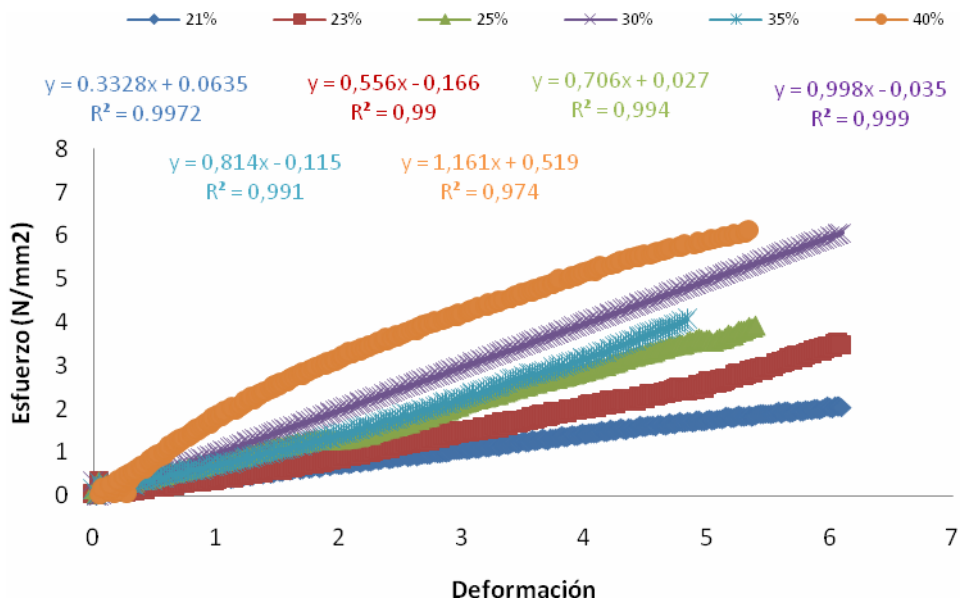


Figura 19. Gráfico de esfuerzo vs deformación que representan el módulo de Young en películas de *Salvia hispánica*.

4.2.2.1 Propiedades térmicas

La calorimetría diferencial de barrido (DSC) es una técnica de análisis térmico que está basada en la medición cuantitativa del calor absorbido o liberado por una muestra cuando es calentada, enfriada o permanece a temperatura constante. La energía absorbida o liberada por la muestra se debe a que el material en estudio, sufre un cambio físico (fusión, cristalización, transición de estructuras cristalinas, etc.) o químico (síntesis, descomposición, etc.) y es compensada por la adición o saturación de una cantidad equivalente de energía eléctrica la cuál actúa a través de un calentador localizado en el porta-muestras (Kampf, 1986).

En la figura 20 y la figura 21 podemos observar el comportamiento de las películas de pectina cítrica (0.4%, 0.5%, 0.6%, 0.7%, 0.8%, 0.9%, 1%, 1.5% y 2%) y de mucílago de chía (21%, 23%, 25%, 30%, 35% y 40%), en las concentraciones utilizadas, donde se puede notar que las películas no se ven afectadas por las temperaturas aplicadas en el rango de 0° a 100°C, lo que nos indica que estos polisacáridos (ácido galacturónico, ramnogalactanos, ramnogalacturonanos entre otros), son estables a esas temperaturas ya que no se observa ningún cambio físico. Esto se puede deber a la sinergia que existe entre los componentes presentes en las películas ya que los polisacáridos que las conforman son lineales y son capaces de ligar agua para formar geles, es decir, conforman una red tridimensional ordenada que deja atrapada en su interior gran cantidad de una fase líquida continua.

Termogramas obtenidos mediante DSC de aceites extraídos de chía (*S. hispánica*) mostraron cambios físicos aplicando una temperatura por debajo de los -54°C y por arriba de los 220°C (Ixtania, 2010), lo cual indica que los componentes de la película de chía son termoestables.

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

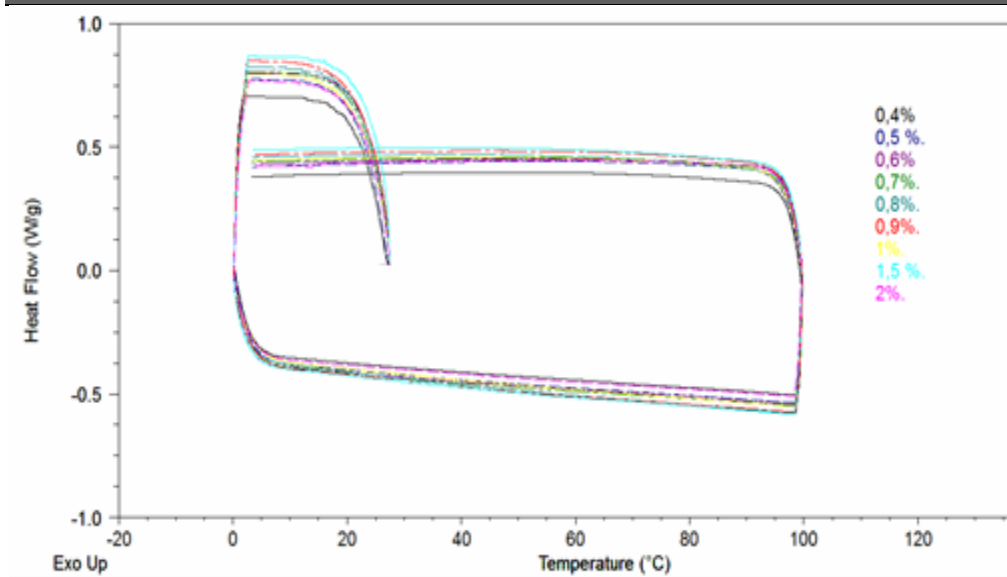


Figura 20. Termogramas de películas comestibles de pectina cítrica obtenidos mediante DSC.

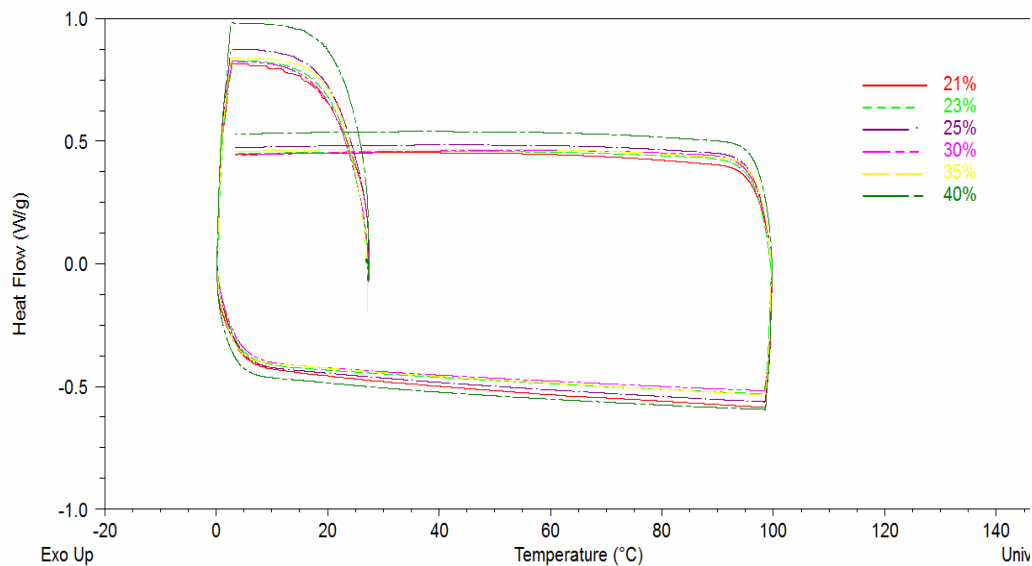


Figura 21. Termogramas de películas comestibles de *Salvia hispánica* obtenidos mediante DSC

Los películas comestibles de pectina cítrica y de chíá (*Salvia hispánica*) según los resultados arrojados por el DSC representan una alternativa para ser empleadas en frutos y otros alimentos los cuales son almacenados a

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

temperaturas superiores a los 0°C y en inferiores a los 100°C ya que éstas no se ven modificados en sus componentes o estructura por la temperatura.

4.2.3 Propiedades reológicas

Desde el punto de vista de la reología, los fluidos más sencillos son los newtonianos, llamados así porque su comportamiento sigue la ley de Newton: “El esfuerzo de corte es proporcional al gradiente de velocidad o velocidad de corte”. Existen algunos líquidos que presentan comportamientos no newtonianos, debidos a la composición química y estructura de las moléculas que lo forman o al tipo de interacción de esas moléculas o partículas con el solvente, cuando se trata de una solución o suspensión(Chhabra, 1999).

En la figura 22 podemos observar el comportamiento de las películas de pectina cítrica donde se observa que el fluido aumenta su viscosidad en la concentraciones de 0.4%, 0.5% y 0.6% conforme aumenta la velocidad de agitación; este tipo de comportamiento se muestra en los fluidos dilatantes. A bajas velocidades, el líquido presente llena los espacios libres, a medida que la velocidad de corte aumenta, el material se expande o dilata y comienza a aparecer esfuerzos de interacción sólido-sólido que se traducen en un aumento de la viscosidad aparente(Chhabra, 1999)

En la figura 23 podemos observar que las películas formadas de mucílago de chíá son fluidos pseudoplásticos como también se observa el mismo comportamiento en las soluciones de pectina en las concentraciones de 0.7%.0.8%,0.9%, 1%,1,5% y 2%, (figura 22), ya que no tienen una tensión de fluencia para que comiencen a deformarse, pero la viscosidad es alta para bajas velocidades de deformación, y decrece con el incremento de $\dot{\gamma}$. Este comportamiento suele estar relacionado con un fenómeno de orientación de las partículas sólidas o macromoléculas en el sentido del flujo, es más intenso cuanto mayor es el gradiente de velocidad aplicado(Chhabra, 1999).Estos comportamientos de fluidos no newtonianos pueden ser debido a que las películas están conformadas por carbohidratos que son hidrófilos, los cuales al estar en

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

contacto con el agua producen disoluciones muy viscosas (geles); es decir, los componentes (carbohidratos) interaccionan con las moléculas de agua adyacentes y las inmovilizan. De esta forma, las moléculas adquieren un mayor volumen debido a su diámetro aparentemente aumentado y le confieren una forma de red (anexol).

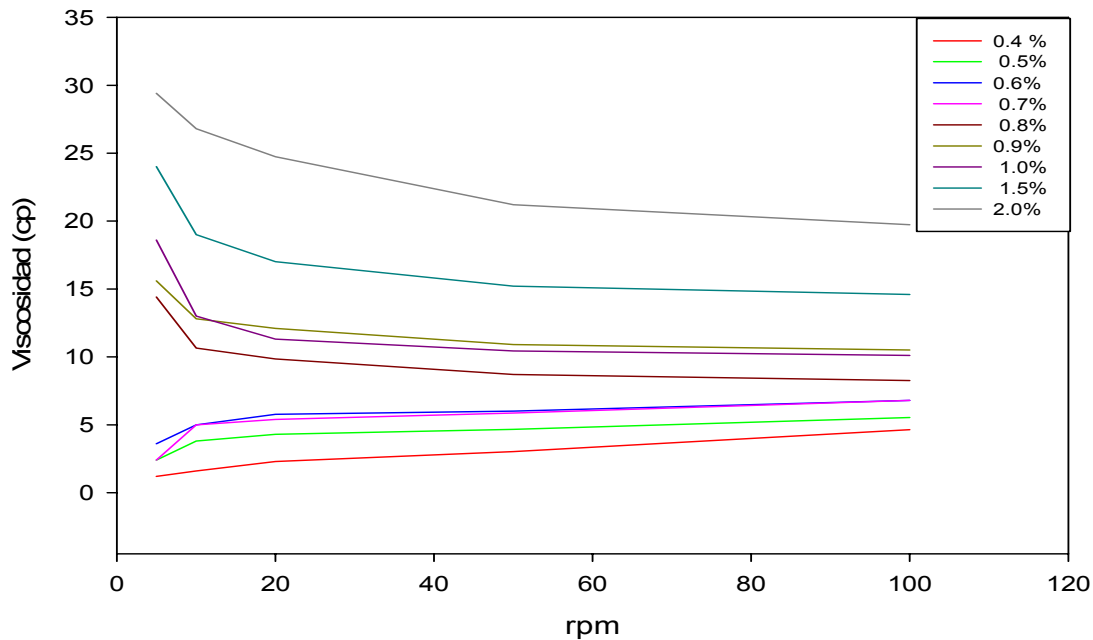


Figura 22. Comportamiento de fluidos no newtonianos de películas de pectina cítrica al concentraciones de 0.4%, 0,5%,0.6%,0.7%,0.8%,0.9%,1%,1.5% y 2%.

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

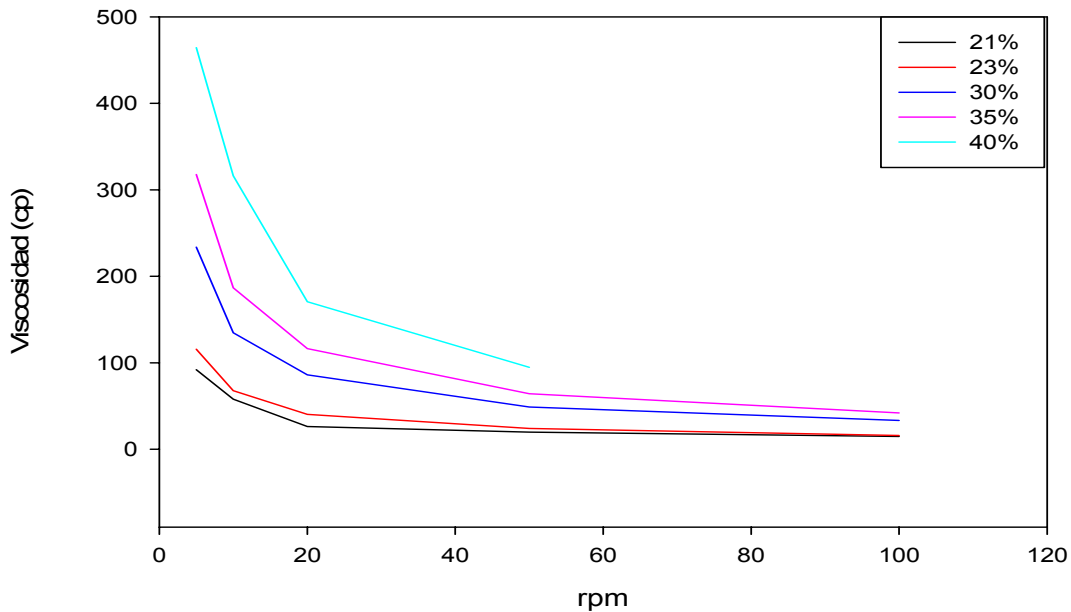


Figura 23. Comportamiento de fluidos no newtonianos de películas de chíá en concentraciones al 21%, 23%, 25%, 30%, 35% y 40%.

4.2.4 Actividad de agua

En la figura 24 se puede observar que en las películas de pectina cítrica, conforme aumenta la concentración del polímero, la actividad acuosa se ve disminuida, lo cual es debido a que el agua disponible de la solución es ocupada por los componentes estructurales (carbohidratos, glicerol) de las películas.

En las películas de chíá es difícil apreciar esto (figura 25) ya que la A_w no tiene ninguna relación con las concentraciones utilizadas, pero se observan diferencias significativas entre la concentración más baja (21%) y la más alta (40%) (Anexo II). Esto se puede explicar ya que el mucílago utilizado para preparar las películas no es puro y puede influir una hidratación no homogénea al momento de aplicar el mucílago en la película, afectando de esta forma las concentraciones reales. Además, se observa que los dos tipos de películas tienen una actividad acuosa inferior a 0.5, actividades acuosas inferiores a estos valores no propician el

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

crecimiento microbiano, lo que representa una ventaja para utilizarse sobre alimentos (Badui, 1993). (Anexo II).

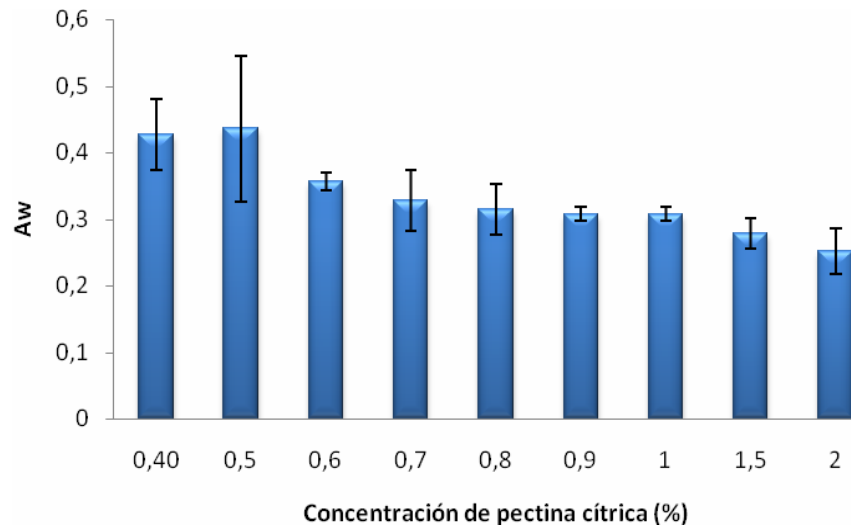


Figura 24. Actividad acuosa presente en las películas de pectina cítrica.

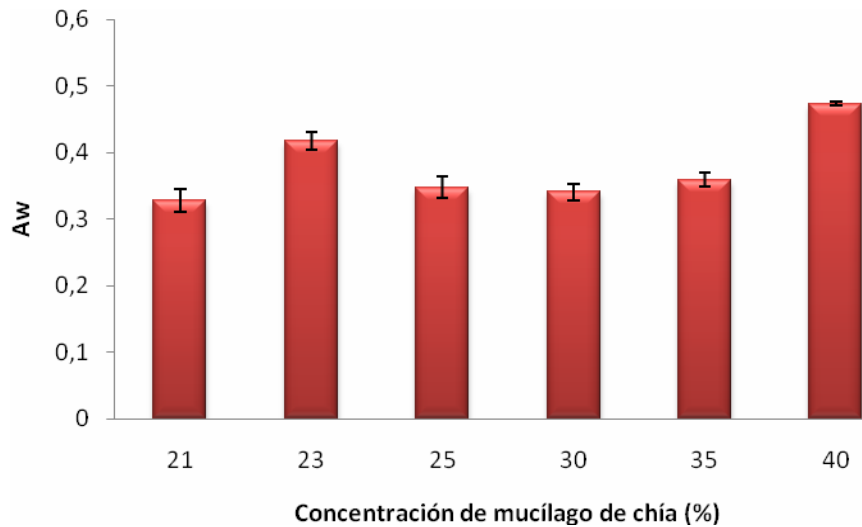


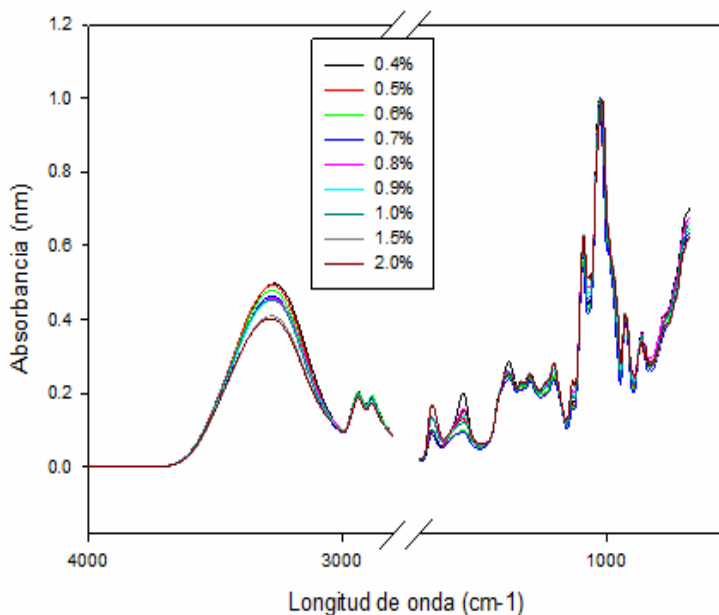
Figura 25. Actividad acuosa presente en las películas de chíá

4.2.5 FTIR

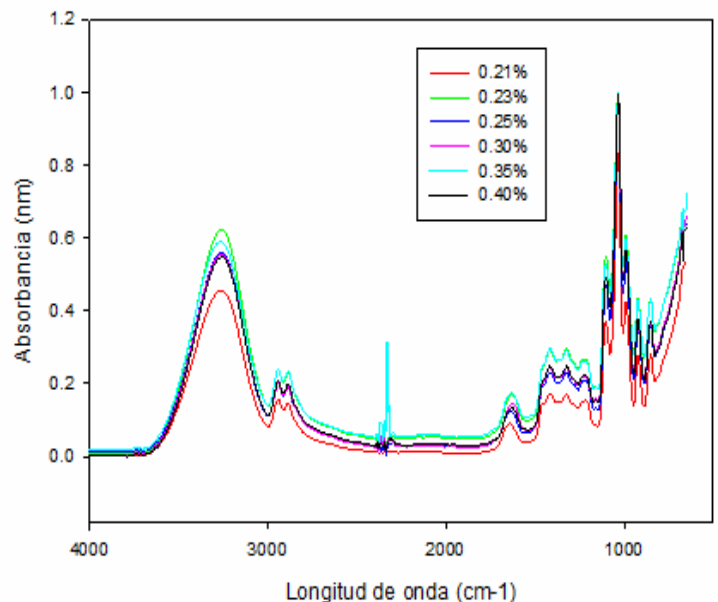
La espectroscopía infrarroja mide la radiación infrarroja absorbida por las moléculas, lo que ocasiona una modificación en los niveles de energía vibracional; que permite identificar grupos funcionales (átomos enlazados) en la molécula y la identificación de la misma. Dos son los tipos de espectrofotómetros más utilizados, dispersivos de red, y con transformada de Fourier (Conley, 1979).

El FTIR por transformada de Fourier, se emplea para caracterizar parcialmente diversas materias primas como las pectinas (Forni, 1994). El espectro FTIR de diversos tipos de pectinas se caracteriza por contar con las siguientes regiones: O-H ($3100-3600\text{ cm}^{-1}$) en la cual la absorción es debido al puente de hidrógeno del ácido galacturónico; C-H ($2800-3000\text{ cm}^{-1}$) que incluye las vibraciones CH, CH₂, CH₃; así como la región de $1200-1800\text{ cm}^{-1}$ del estado del grupo carboxilo (Marry, 2000). Sin embargo, la región entre los $1000-2000\text{ cm}^{-1}$ identifica la mayor cantidad de grupos químicos, que provee información que puede ser empleada para diferenciar los diferentes tipos de pectinas.

a)



b)



Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Figura 26. FTIR. a) FTIR para pectina cítrica en diferentes concentraciones, b) FTIR para pectina de chía a diferentes concentraciones.

En la figura 26a y 26b podemos observar que no existen diferencias en los espectros infrarrojos de la pectina cítrica y de chía a diferentes concentraciones, lo cual es debido a que posee los mismos grupos funcionales, por lo tanto la composición los grupos funcionales no se ven afectada por la concentración de los componentes.

El FTIR por transformada de Fourier se emplea para generar el espectro específico conocido como huella digital de diversos complejos como el caso de la pared celular vegetal. En la figura 27, podemos observar el análisis infrarrojo por transformadas de Fourier de la pectina cítrica y de la chía (*Salvia hispánica*) donde se muestran marcadas diferencias entre ellas. Las vibraciones características de los monosacáridos y polisacáridos generalmente se presentan en la región entre los 1200 y 900 cm^{-1} debido a los fuertes enlaces presentados en el grupo C-O que se relaciona con los azúcares. Además, la absorción de las bandas a los 170 y 1650 cm^{-1} pertenecen a los grupos carboxilos esterificados y carboxilos libres, respectivamente. Una de las principales diferencias de los materiales analizados (pectina cítrica y mucílago de *Salvia hispánica*) se encuentra en la región de los 1750 cm^{-1} , lo cual indica la presencia de pectina endógena con contenido de grupos metoxilo, presentes en la pectina cítrica; por lo que disminución de absorción a esta longitud de onda en la pectina de chía (*Salvia hispánica*) denota la baja cantidad de pectina endógena debido a la poca cantidad de grupos metoxilo presentes. Otra diferencia marcada en la figura 27 se observa a los 1100 cm^{-1} la cual corresponde a una absorción de grupos éster donde observamos que la pectina cítrica es altamente esterificada comparada con la pectina de chía. A una longitud de onda de 1650 cm^{-1} se asocian los grupos carboxilos, acetilos y feruloílos presentes en ambas pectinas bajo la misma proporción.

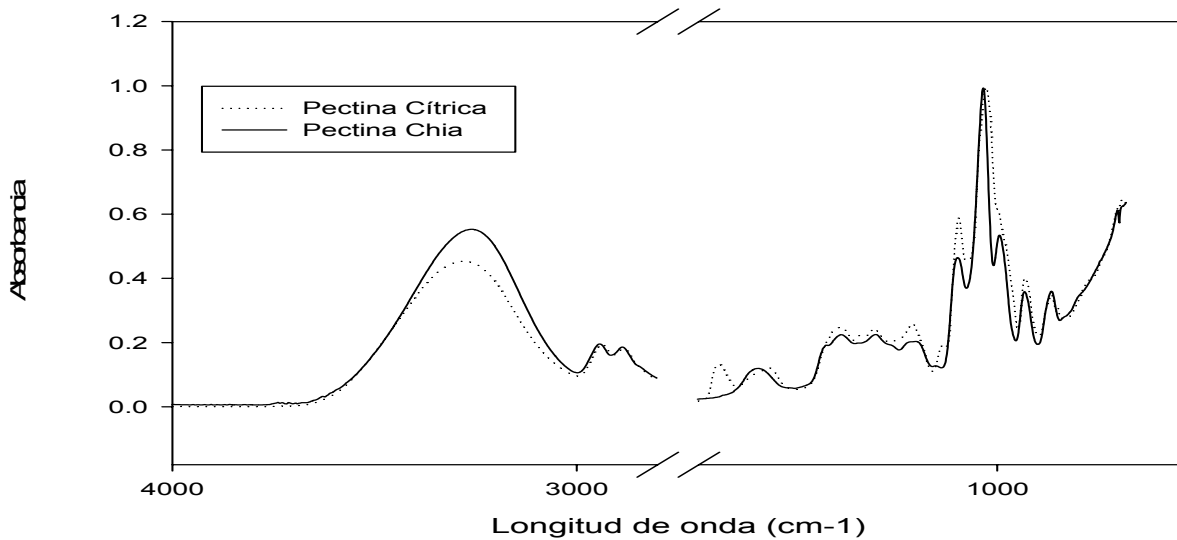


Figura 27. FTIR por transformadas de Fourier de diversos tipos de pectinas.

4.2.6 Permeabilidad a gases (CO₂ y O₂)

Los frutos de pera utilizados presentaron un peso promedio de 171g y son considerados en el mercado como de tamaño grande (figura 28). Su piel o epidermis es verde con tonalidades amarillas y son de mayor tamaño cuando se ha empleado membrillero de patrón y ligeramente más pequeñas, y con chapas de color rojizo, cuando se ha empelado pera variedad "perilla" como patrón.

La pulpa de esta variedad es de textura firme, ácida al inicio pero conforme maduran se va incrementando las concentraciones de azúcar, llegando a un promedio de 13.5° Brix a la maduración total (figura 28). Es muy resistente al transporte, característica que favorece su acopio y comercialización.

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.



Figura 28. Peras (*Pyrus communis*). a) Peras sin tratamiento b) Peras con cobertura de pectina c) Peras con cobertura de chía.

En las peras con recubrimiento de pectina cítrica se aumentó la permeabilidad al CO_2 y disminuyó la concentración de oxígeno disponible (se incrementó la intensidad respiratoria), y en las peras con recubrimiento de chía se redujo la permeabilidad al CO_2 y aumento la concentración de oxígeno (se redujo la intensidad respiratoria), después de haber aplicado los recubrimientos (cuadros 7 y 8), se observa que no hay una relación directa entre los porcentajes de gases permeados o en la intensidad respiratoria mostrada en los tratamientos con las concentraciones de polímero utilizado en los films aplicados en los frutos, ya que el grado de maduración de los frutos no era el mismo y esto influye en la intensidad respiratoria de todos los frutos.

El aumento de la permeabilidad en las películas de pectina, puede ocurrir porque las películas de pectina tienen una superior concentración de glicerol (1.7%) a las películas de chía (1%), el glicerol reduce las interacciones (puentes de hidrogeno, iónicos, posibles fuerzas de Vander Walls) entre los biopolímeros, lo que incrementa el espacio intermolecular y por lo tanto la permeabilidad de las películas (Aguilar-Méndez, 2005), el glicerol es un plastificante efectivo, debido a su potencialidad para reducir los puentes de hidrógeno internos, pero incrementan el espaciado intermolecular (Donhowe y Fennema, 1993), por lo tanto lo hacen menos

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

resistente a la transmisión de gases, además dicho plastificante al ser una molécula hidrofílica favorece la adsorción-desorción de las moléculas de agua (Aguilar-Méndez, 2005). Posiblemente el aumento a la permeabilidad es debido a que la red polimérica que se forma con este polisacárido es más abierta por el bajo contenido de grupos metoxilo, lo que permite intercambio de gases. Datos similares fueron reportados en trabajos sobre películas a base de gluten de trigo (Gontard *et al.*, 1993), películas con proteína de suero de leche (Mc Hugh y Krochta, 1994) en películas de gelatina y almidón (Aguilar-Méndez, 2005). Sin embargo, las películas elaboradas con mucílago de chía permiten menos intercambio de gases, esto podría explicarse ya que dentro de la composición del mucílago de chía se encuentran ácidos grasos esenciales como el omega 3, palmítico, esteárico, oleico, linoléico y linolénico, los cuales intervienen en el proceso de intercambio de gases reduciéndolo, lo que puede deberse al alto carácter hidrófilo del film, asociado, en parte, a la presencia de solutos polares de bajo peso molecular e iónicos, algo similar se reportó para películas elaboradas con mucílago de nopal con y sin ácido oleico y ácido esteárico (Villaseñor, 2008).

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Cuadro 7. Datos de permeabilidad a gases de películas de pectina cítrica.

Respiración de las peras sin cubierta			Respiración de las peras con recubrimiento de pectina			
Tratamiento	mg O ₂ /kg-h	mg CO ₂ /kg-h	°Brix de los frutos	Cubierta aplicada	mg O ₂ /kg-h	mg CO ₂ /kg-h
1	2797.0954 ± 102.7272	71.0490 ± 18.0741	12.05°, 12.25°	Pectina 0.5%	2782.5282 ± 82.1261	92.3042 ± 27.5323
2	2517.9085 ± 232.9364	69.8897 ± 3.0361	12.55°, 13.25°	Pectina 1%	2493.1250 ± 248.8250	114.9961 ± 9.8162
3	2618.8286 ± 96.7286	79.5651 ± 3.2234	13.4°, 13.3°	Pectina 2%	2566.1651 ± 113.3333	112.9071 ± 13.9434

Cuadro 8. Datos de permeabilidad a gases de películas de chíá.

Respiración de las peras sin recubrimiento			Respiración de las peras con recubrimiento de chíá			
Tratamiento	mg O ₂ /kg-h	mg CO ₂ /kg-h	°Brix de los frutos	Cubierta aplicada	mg O ₂ /kg-h	mg CO ₂ /kg-h
1	2780.5447±647.2803	82.6510±26.8188	13.35°, 13°, 12.8°	Chía 21%	2767.4626±614.5053	68.7199±29.6771
2	2812.8581±865.7958	67.1805±25.6810	12.05°, 12.8°,15.3°	Chía 30%	2808.0563±836.9263	65.6295±8.1043
3	3196.3412±1023.0418	102.4526±6.571961	14.7°, 11.9°, 12.4°	Chía 40%	3216.0163±1046.5921	63.9521±39.6133

4.2.7 Permeabilidad al vapor de agua (WVP)

En los cuadros 9 y 10 podemos observar los valores de WVP obtenidos en los dos tipos de películas a las concentraciones utilizadas, la película que presentó los mayores valores de permeabilidad fue la de 2% con pectina y para la de chíá a la concentración de 21%. Como lo dice Greener y Fennema, 1989, el sorbitol y el glicerol son plastificantes efectivos, debido a su potencialidad para reducir los puentes de hidrógeno internos, mientras incrementan el espaciado intermolecular. Esto va asociado a un incremento en la permeabilidad de las películas como consecuencia del aumento en la movilidad de las cadenas del polímero, que origina una disminución de la resistencia de las películas a la transmisión de gas o del vapor de agua (Donhowe y Fennema, 1993). Por lo tanto se puede explicar que las películas con mayor permeabilidad fueron las de pectina ya que el contenido de glicerol es mayor que en las de mucílago de chíá, lo mismo se obtuvo en la permeabilidad a gases CO₂ y O₂.

También se puede observar que en las películas de pectina a medida que la concentración de pectina aumenta también lo hacen los valores de permeabilidad, en los films de mucílago ocurre lo contrario, la permeabilidad disminuye a medida que aumenta la concentración de mucílago de chíá, la pectina es un polisacárido que anteriormente ha sido probado por otros autores y han obtenido resultados similares explicando que estas películas son de alta transmisión en comparación con las de cera y aceite, bajo condiciones similares (Sánchez, 1998). Las películas de pectina de bajo metoxilo son utilizadas en frutas secas con el objeto de favorecer su apariencia más que evitar la transferencia de humedad (Baldwin et al., 1995). Los films estudiados por Maftoonazad et al. (2007a), fueron elaborados mezclando la pectina con sorbitol y cera de abeja. Estos autores señalan que la permeabilidad al vapor de agua se ve incrementada con la concentración de pectina y sorbitol y decrece con la cera de abeja.

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Lo que ocurre con los films de chía es que el mucílago además de contener un polímero dentro de su composición contiene grasa que se queda dentro de la composición de las películas, si aplicamos mayor contenido de mucílago también aumentamos el contenido de lípidos, los lípidos o sustancias hidrofóbicas son más eficientes para retardar la transferencia de humedad (Gontard *et al.*, 1994), explicándose así la disminución de la permeabilidad a medida que aumenta la concentración de mucílago.

Cuadro 9. Valores de permeabilidad al vapor de agua de películas de pectina cítrica a 20° C a una presión de 17.5 mm de Hg.

Concentración de pectina	Permeabilidad	
	g*cm/m ² *d*mm Hg	g*m/m ² *min*mm Hg
0.40%	0.51057514	3.5457E-06
0.50%	0.65594238	4.5552E-06
0.60%	0.66884645	4.6448E-06
0.70%	0.72772673	5.0537E-06
0.80%	0.8418972	5.8465E-06
0.90%	0.84656292	5.8789E-06
1.00%	0.84765252	5.8865E-06
1.50%	0.87447343	6.0727E-06
2.00%	0.87945576	6.1073E-06

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Cuadro 10. Valores de permeabilidad al vapor de agua de películas de mucílago de chíá a 20° C a una presión de 17.5 mm de Hg.

Concentración de mucílago	Permeabilidad	
	g*cm/m ² *Hg mm*d	g*m/m ² *Hg mm*min
21%	0.250139911	1.73708E-06
23%	0.251483284	1.74641E-06
25%	0.250735931	1.74122E-06
30%	0.248030558	1.72243E-06
35%	0.247886675	1.72144E-06
40%	0.238834152	1.65857E-06

En el cuadro 11 adaptado por Gontard *et al* 1995 se observan distintos valores de permeabilidad al vapor de agua, en condiciones muy parecidas a las que se adaptaron las películas evaluadas, estos valores comparados con los obtenidos tanto para las películas de chíá y las películas de pectina cítrica, representan buenos valores de permeabilidad al agua.

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Cuadro 11. Valores de permeabilidad al vapor de agua de distintos materiales y películas comestibles adaptado por Gontard et al 1995

Película	T (°C)	Presión (mm Hg)	Espesor (mm)	Permeabilidad al vapor de agua (g m / m ² mmHg min)
<i>Películas no alimenticias</i>				
Celofán	37.8	46.7	-	5.7639E-0.7 a 1.1528E-07
Polietileno de baja densidad	37.7	44.3 – 0	0.025	6.9444E-09
Papel encerado	37.8	46.7 – 0	-	1.1111E-09 a 8.685E-08
Papel aluminio	37.7	44.3 – 0	0.025	4.1667E-11
<i>Películas alimenticias</i>				
Almidón	25	19.2 – 7.3	0.036	2.0347E-05
Caseína-gelatina	30	28.9 – 18.5	0.250	4.9305E-06
Gluten (83.4%), glicerol (16.6%)	30	32.2 – 0	0.050	7.2917E-07
Gluten (60%), DATEM (20%), glicerol (13%)	30	32.2 – 0	0.050	3.8194E-07
Chocolate	20	14.1 – 0	0.61	9.7222E-08
Gluten con cera de insectos (8 mg/cm ²)				
C18-C16 MC/HPMC	25	20.0 – 0	0.02	2.4306E-08
Gluten con monoglicéridos (8 mg/cm ²)	30	32.2 – 0	0.11	1.6667E-08
C18-C16 MC/PEG con cera de abeja (3.2mg/cm ²)	25	20.2 – 0	0.056	5.2083E-09
C16-C18 MC/HPMC con cera de abeja (4 mg/cm ²)	25	20.2 – 0	0.051	5.2083E-09
Gluten con cera de abeja (5.3 mg/cm ²)	30	32.2 – 0	0.09	3.3333E-09
Cera de abeja	25	20.0 - 0	0.12	1.7361E-09
Gontard et al., 1995				

4.2.8 Color

Las propiedades ópticas de los films: color, opacidad y brillo son importantes ya que afectan al aspecto del producto recubierto y por tanto determinan la factibilidad de su uso (Abraján, 2008).

La apariencia (brillo, color, opacidad) depende de la naturaleza del componente formador de la matriz del film. En los cuadros 12 y 13 se presentan las coordenadas de color en el espacio uniforme de color $L^*a^*b^*$ que presentan los films.

En las coordenadas, las diferencias de color obtenidas para los dos tipos de films (pectina y mucílago) se pueden observar en los films que tienen las más altas concentraciones de polisacárido utilizado, ya que presentaron valores más altos en las coordenadas a^* y b^* seguramente debido al color impartido por el polisacárido usado en cada tipo de película, lo que propicia un aumento en la coloración que se puede apreciar como ligeramente amarillo o grisáceo o café (figura 29), por lo que se reitera que el color es afectado por la concentración del polisacárido utilizada.

Los films de pectina cítrica presentaron una mayor luminosidad que los de chíá, esto lo podemos atribuir al glicerol por su efecto plastificante, lo que propicia que adquieran una apariencia más blanquecina que se refleja en los valores mayores de luminosidad que se mantiene en el mismo nivel en todas las concentraciones utilizadas.

Zamudio, 2007 reporta que cuando se agregaron glicerol y aceite de girasol a su formulación de almidón nativo, el valor de L^* incrementó principalmente debido a algunas interacciones entre los componentes con las cadenas de almidón. Un comportamiento similar también ocurre en películas elaboradas con quitosano y ácido oleico (Butler *et al.*, 1996).

La luminosidad de los films de chíá se ven más afectada por la concentración de mucílago ya que disminuye cuando la concentración aumenta además que estos

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

films tienen una menor concentración de glicerol. se puede atribuir al contenido de lípidos que tiene el mucílago de chía ya que los lípidos afectan las propiedades ópticas de los films, resultados similares reportó Maftoonazad *et al.* (2007b) al incrementar las concentraciones de cera de abeja aumenta la opacidad del film.

Sin embargo los valores más altos de L* fueron cercanos a 100 tanto para pectina y para chía, que es el valor máximo para esta variable, indicando un material blanco, lo que nos indica que el color de los films es muy adecuado para usarse en productos alimenticios sin afectar la coloración original (anexo IV).

Cuadro 12. Valores medios y desviación estándar de las coordenadas de cromaticidad L, a*, y b* de las películas a base de pectina cítrica.

Concentración de pectina	L	a*	b*
0.40%	84.3900±1.0027	0.4957±0.2181	1.1586±1.4100
0.50%	84.2229±1.1486	0.4356±0.0505	1.1722±0.3284
0.60%	84.2263±1.4452	0.3338±0.0912	1.7640±0.3949
0.70%	84.8944±0.9742	0.5522±0.2137	1.4383±0.3903
0.80%	84.6633±0.7915	0.4167±0.1701	1.2500±1.1257
0.90%	84.5411±1.1791	0.4333±0.1206	1.5989±0.4247
1.00%	84.2071±1.0032	0.6100±0.0765	1.0233±0.3811
1.50%	84.2080±1.6402	0.3533±0.1510	2.8022±1.1813
2.00%	84.2222±1.5355	0.2471±0.1997	4.6744±2.2082

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Cuadro 13. Valores medios y desviación estándar de las coordenadas de cromaticidad L, a *, y b * de las películas a base de mucílago de chía.

Concentración de mucílago	L	a*	b*
21%	81.8667±1.2555	0.6450±0.1296	2.4717±0.7482
23%	81.5140±0.5341	0.4889±0.1514	2.9622±0.5334
25%	80.6822±0.8868	0.3629±0.0502	2.7193±0.4643
30%	80.5878±0.7279	0.2511±0.1415	4.1956±0.6225
35%	80.6544±1.0581	0.1178±0.1410	4.1033±0.5605
40%	80.6767±0.3105	0.0467±0.0820	4.4244±0.7842

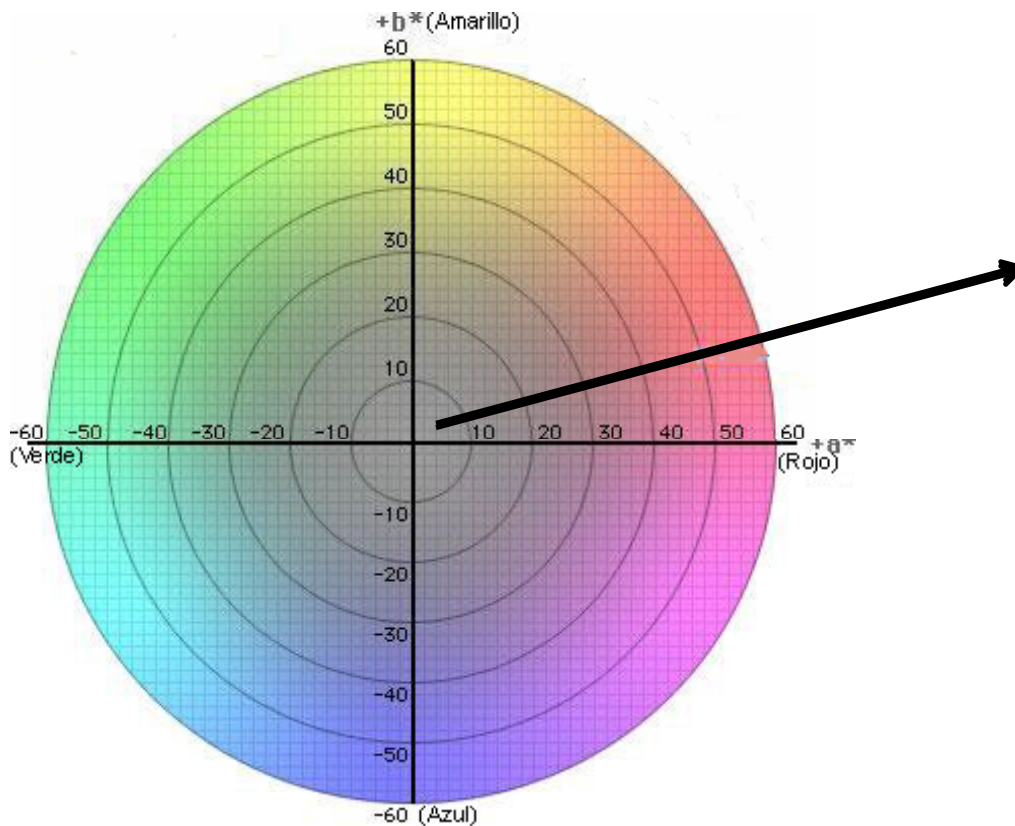


Figura 29. Identificación de las películas en el diagrama del sistema de notación de color L* a* y b*

4.2.9 Solubilidad

La solubilidad se define como la cantidad máxima de soluto que puede disolverse en una cantidad determinada de solvente a una temperatura dada. La solubilidad de un film se define como la tolerancia que presenta éste al agua u otro solvente. Esta propiedad está determinada por su estructura química, así como por la permeabilidad de ésta (Lee *et al.*, 2004).

Durante la solubilización, el volumen específico de los biopolímeros aumenta debido a la absorción de agua por hidratación por lo que hay una modificación de su estructura, lo que se pronunció más en las películas de chía, porque más que una solubilidad de sus compuestos se presentó una hidratación de la película, lo que se traduce en valores más bajos de sólidos solubles, esto se puede explicar por el contenido de ácidos grasos en el mucílago de chía, según García 2000 agregó aceite de girasol a películas de almidón y observó los más bajos valores de solubilidad, comparado a las que no lo contenían, lo que se explicaría por el carácter hidrofóbico dado por el aceite.

La mayor solubilidad de los diferentes films se obtuvo para las películas de pectina de más alta concentración mismas que presentan los más altos de niveles de permeabilidad (figura 30), esto se podría explicar ya que tienen un mayor contenido de glicerol dicho compuesto incrementa que el espaciado intermolecular (Donhowe y Fennema, 1993,) por lo tanto propicia que el film absorba agua más fácil por dichos huecos y vaya ganado movilidad molecular, lo que potencia su solubilización.

En las figuras 30 y 31 para los 2 tipos de films se observa que la solubilidad se ve afectada cuando aumenta la concentración de polisacárido utilizado, en ambos casos el análisis estadístico (anexo 5 pag.111) muestra diferencias

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

significativas en la solubilidad de las películas de distintas concentraciones de polisacárido utilizado para cada película.

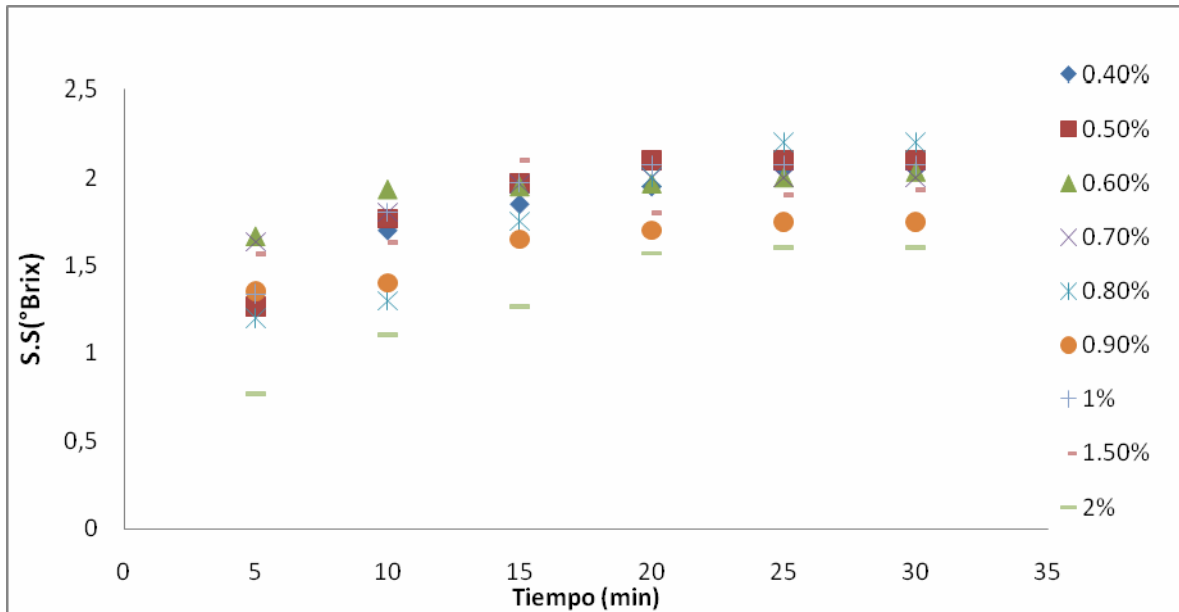


Figura 30. Evolución de los sólidos solubles de los films a base de pectina en función del tiempo.

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

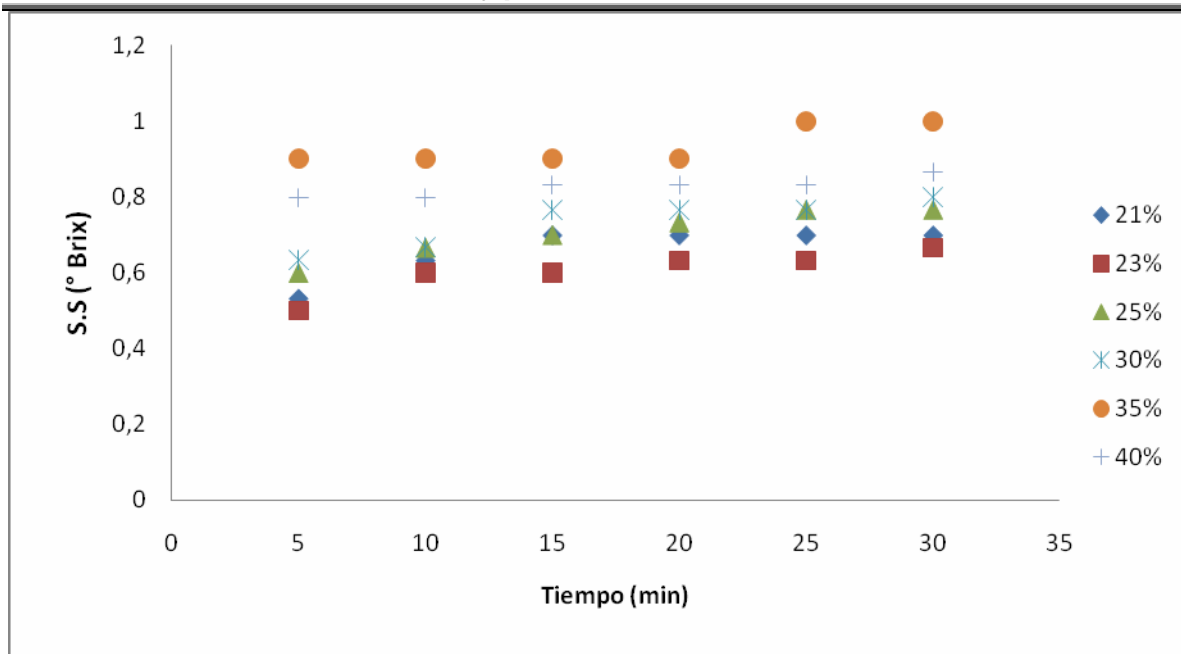


Figura 31. Evolución de los sólidos solubles de los films a base de mucílago de chía en función del tiempo

5. CONCLUSIONES

- El método de centrifugación para la obtención del mucílago de chía representan una alternativa más eficiente que por filtración al vacío ya que aumenta el rendimiento de mucílago y disminuye el tiempo de extracción
- La forma en que se produce el fenómeno de sedimentación durante la formación de la película y el secado afecta los grosores y textura de la superficie externa, afectando las propiedades mecánicas, y de barrera a los gases de las películas ya que no se obtienen películas homogéneas en grosores o pueden contener partículas suspendidas que propician una disminución en la elasticidad.

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

- El color y el espesor de las películas de pectina cítrica y mucílago de chíá está en función de la concentración del polímero ya que a mayor concentración hay más cantidad de sólidos solubles que forman la red polimérica y por lo tanto aumenta su grosor, el color se ve afectado por la concentración ya que ninguno de los dos tipos de polímeros son incoloros, al incrementar la concentración cambia la tonalidad de color en la película.

- Los dos tipos de películas (mucílago y pectina) con las concentraciones probadas presentaron buenas propiedades mecánicas, porque son resistentes y no son quebradizas, las películas de mucílago de chíá al 21% y la de 0.8% para las películas de pectina presentaron la mayor deformación al menor esfuerzo aplicado con respecto a las otras concentraciones de polímero utilizado lo que se traduce en un módulo de Young más bajo y por lo tanto las que presentaron mejor elasticidad.

- Tanto las películas de pectina cítrica como las de mucílago de chíá son termoestables, por lo que representan una alternativa para cubrir una gran variedad de alimentos.

- Las propiedades reológicas de las películas de pectina cítrica demuestran un comportamiento de fluidos dilatantes para las más bajas concentraciones (0.4, 0.5 y 0.6) de pseudoplásticos para las restantes, mientras que las películas de chíá se comportan como pseudoplásticos, comportamientos que se debe tomar en cuenta para la manera de aplicar como cubiertas.

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

- El FTIR demuestra diferencias en el grado de metoxilación de las películas de pectina cítrica y de chía, lo que influye en la formación de la película por su grado de esterificación.
- No se recomienda utilizar las películas de pectina como barrera a los gases (CO₂ y O₂) en frutos ya que la película no brinda protección para la disminución de la permeabilidad o la intensidad respiratoria.
- Las películas de chía representan una alternativa de uso en la industria de alimentos debido a la protección contra la transmisión de vapor de agua.

6. PERSPECTIVAS

- Continuar con el estudio del mucílago de chía para aplicaciones en el área alimenticia como recubrimiento de alimentos, realizando más investigaciones combinando otros materiales, y/o condiciones de almacenamiento de otras frutas y verduras.
- Realizar investigaciones para encontrar una manera de estabilizar el mucílago de *Salvia hispánica* sin afectar sus propiedades, para poder purificarlo y facilitar su uso en el área alimenticia.

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

- Mejorar las propiedades de las películas de pectina mediante la adición de ácidos grasos o lípidos.
- Muchas de las propiedades no presentan diferencias significativas al variar la concentración de polímero utilizado por lo que se recomienda utilizar o seguir investigando probando la película de 35% de mucílago de *Salvia hispánica* y la de 0.8% para pectina cítrica.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar-Méndez M. (2005) Propiedades físicas y mecánicas de películas biodegradables y su empleo en el recubrimiento de frutos de aguacate, tesis para obtener el grado de maestro en tecnología avanzada.

ANONIMO Propiedades y reología de alimentos [En línea]
<http://www.ual.es/~jfernand/TA/Tema4/Tema4-PropiedadesFisicasyReologia.pdf>

Consultado el 24 de febrero del 2013

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

ASTM (1995). Standard test Methods for water vapor transmission of material. Standard Designations: E96-95. En. Annal Book of ATSM, Philadelphia, PA, 406-41

ASTM international. 2005. Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials ASTM E 96/E 96M – 05. United States. 11p

Avena-Bustillos, R. J. y Krochta, J. M. (1993). Water Vapor Permeability of Caseinate- Based Edible Films as Affected by pH, Calcium Crosslinking and Lipid Content. Journal of Food Science, 58: 904-907.

Ayerza R. (2009). The seeds protein and oil contents fatty acid composition, and growing cycle length of a single genotype of chia (*Salvia hispánica* L.) as affected by environmental factors. J Oil Sci 58: 347 - 354.

Ayerza, R., Jr. and Coates, (2007). W. Effect of dietary alpha-linolenic fatty acid derived from chia when fed as ground seed, whole seed and oil on lipid content and fatty acid composition of rat plasma. Ann Nutr Metab; 51(1):27-34.

Badui S (1993). Química de los alimentos. Ed Prentise Hall. p 26.

Beltrán-Orozco MC, Romero MR. (2003). Chía, alimento milenario. Revista Industria Alimentaria. Septiembre-Octubre. Alfa-Editores Técnicos S. A. Iztapalapa, México DF, México.

Ben Halkire A, Toker AO, Maciarelo MJ. (1993). Tipo *Mintostachys mollis* (Lamiaceae) an exuatorial mint. Econ Bot 48: 60 - 64.

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Biquet, B. y Labuza, T.P. (1988). Evaluation of the moisture permeability of chocolate films as edible moisture barrier. *Journal of Food Science*, 53: 989-991.

Brandenburg, A. H., Weller, C. L. y Testin, (1993). Edible Films and Coating from Protein Soy. *Journal of Food Science*. 58: 1086-1089.

Buitrago v., g. (2004). Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de papa cultivada en Colombia. *Revista brasileira de engeharia agrícola y ambiental*. Vol. 8, no. 1 p.102 -110.

Bushway AA, PR Belyea, RJ Bushway. (1981). Chia seed as a source of oil, polysaccharide and protein. *J Food Sci* 46: 1349 - 1350.

Cagri, A., Ustunol, Z. y Ryser, E. T. (2004). Antimicrobial edible films and coatings. *Journal of Food Protection*. 67(4): 833-848.

Cahill JP. (2004). Genetic diversity among varieties of chia (*Salvia hispánica* L.). *Gen Res Crop Evol* 51: 773 - 781

Cahill JP. (2005). Human selection and domestication of chia (*Salvia hispánica* L.). *J Ethnobiol* 25: 155 - 174.

Chhabra R.P. (1999) Non- Newtonian Flow in the Process Industries- Fundamentals and Engieneering Aplicacions Ed Butterworth-Heineman

Chen, H. (1995). Funtional properties and application of edible films made of milk proteins. *Journal of Dairy Science*, 78: 2563-2583.

Conley, R.T. "Espectroscopia infrarroja" Ed. Alhambra, Madrid (1979).

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de Salvia hispánica y pectina cítrica.

Forni, E.; Penci, M.; Polesello, A. Carbohydrate Polymers, 1994, 23, 231- 234.

Cuq, B., Gontard, N., Cuq, J.L. y Guilbert, S. (1996). Functional properties of myofibrillar protein-based biopackaging as affected by film thickness. Journal of Food Science, 61: 580-584.

Coffin, D.R. y Fishman, M.L. (1993). Viscoelastic properties of pectin/starch blends. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 41: 1192-1197.

Debeaufort, F. y Voilley, A. (1995). Effect of surfactants and drying rate on barrier properties of emulsified edible films. Journal of Food Science and Technology. 30: 183-187

Donhowe, I.G. y Fennema, O. 1993. Edible films-barriers to moisture migration in frozen foods. Food Australia, 45: 521- 525.

El Ghaout, A., Arul, J., Ponnampalam, R. y Boulet, M. 1991. Chitosan coating effect on storability and quality of fresh strawberry. Journal of Food Science, 56: 1618-1622.

Fellows, P. (1990). Food Processing Technology: principles and practices. Ellis Horwood, New York.

Fishman, M.L., Coffin, D.R., Onwulata, C.I. y Willett, J.L. (2006). Two stage extrusion of plasticized pectin/poly (vinyl alcohol) blends. Carbohydrate Polymers, 65: 421-429.

Gennadios, A. y Weller, C. L. (1990). Edible films coating from wheat and corn protein. Food Technology. 44: 63-69.

Gennadios, A., McHugh, T. H., Weller, C. L. and Krochta, J. M. (1994). Edible coating and films based on protein. In Krochta, J. M., Balwin, E. A. and

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

NiperosCarriedo, M. O. (Eds.). Edible Coatings and Films to Improve Food Quality, p. 201-277. Lancaster. Basel: Technomic Publishing.

Gontard, N., Guilbert, S. y Cuq, J.L. (1992). Edible wheat gluten films: influence of the main process variables on film properties using response surface methodology. *Journal of Food Science*, 57: 190-195.

Gontard, N., Guilbert, S. and Cuq, J. L. 1993. Edible wheat gluten film: Influence of the main process variable on film properties using response surface methodology. *Journal of Food Science* 57: 190-195

Gontard, N.; Guilbert, S and Cuq, J. L (1993). Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film. *Journal of Food Science* 58 (1), 206-211

Guilbert, S., Gontard, N. y Gorris, G.M. (1996). Prolongation of the shelf-life of perishable food products using biodegradable films and coatings. *Lebensm-Wiss. u.-Technol.* 29: 10-17.

Guilbert, S. (1995). Technology and application of edible protective films. En: G. Barbosa-Canovas, y J. S. Welte-Chanes (Eds). *Food Preservation by moisture control, Fundamentals and applications*. Isopow Practicum II, N.Y. EE.UU. 371- 394.

Guilbert, S., Gontard, N. y Gorris, G.M. (1995). Prolongation of the shelf-life of perishable food products using biodegradable films and coatings. *Lebensm-Wiss. u.- Technol.* 29: 10-17

Hernández Gómez JA, Miranda Colin S. (2008). Caracterización morfológica de Chía (*Salvia hispánica* L.). *Rev F Itotec México* 31: 105 - 113.

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Hutching, J.B. (1999). Food color and appearance. 2nd Ed. Chapman y Hall Food Science Book. Aspen Publisher, Inc. Maryland, USA.

Ixtania, (2010). Caracterización del aceite y semilla de chía (*Salvia hispánica* L) obtenido mediante distintos procesos. Tesis doctoral.

J.L Mc Naughton y C. T. Mortimer. (1975). Calorimetría Diferencial de Barrido. Universidad De Keele, Perkin Elmer Corporation, pág. 3 – 9. Pytel, a. Y Singer, F. Resistencia de materiales. México: Oxford, 1994. p. 31-32.

Kämpf, G. (1986) Characterization of Plastics by Physical Methods". Hanser publishers.

Kester J. J. y Fennema, O. (1986). Edible Films and Coating: A Review. Food Technology. 40: 47-57.

Krochta, J.M. (1992). Control of mass transfer in food with edible coatings and films. In: Advances in Food Engineering, Singh, R.P. and Wirakartakusumah, M.A., Eds. CRC Press, Boca Raton, pp. 517.

Krochta J.(1994 b) Water vapor permeability properties of edible whey protein-lipid emulsion films. JAOCS, 71, 307-3012

Krochta J. (1994) Water vapor permeability properties of edible whey protein-lipid emulsion films. JAOCS, 71, 307-3012

Lin KY, Daniel JD, Whistler RL (2007). Structure of chia seed polysaccharide exudate. Carbohydr Polym 23: 13-18.

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Lin, (2007). Innovations in the development and applications of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. *Comprehensive reviews in food science and food safety*. 6:3, 60-75.

Lindstrom, T.R., Morimoto, K. y Cante, C.Y. (1992). Edible films and coatings. In: *Encyclopedia of Food Science and Technology*. Hui, Y.H., Ed. Wiley Interscience, New York, pp. 1

Liu, L.S., Liu, C.K., Marshall, L. y Hicks, K.B. (2007^a). Composite films from pectin and fish skin gelatin or soybean flour protein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: 2340-2355.

Liu, L.S., Finkenstadt, V.L., Liu, C.K., Jin, T., Fishman, M.L. y Hicks, K.B. (2007^b). Preparation of poly(lactic acid) and pectin composite films intended for applications in antimicrobial packaging. *Journal of Applied Polymer Science*, 10.1002: 801-810.

Lund, D.B. (1983). Applications of differential scanning calorimetry in foods. En: *Physical properties of foods*. Edit. M. Pelleg y L. Baglye. Connecticut, AVI 125-155 p

Marry, M.; McCan M.; Kolpak, F.; White, A. *J. Sci. Food Agric.* **2000**, 80, 17-28.

McDowell, D., Kirwan, M.J. y Coles Richard. (2003). *Food Packaging Technology*. Editorial CRC Press, Oxford, Inglaterra

McHugh, T.H y Krochta, J.M. (1994^a). Sorbitol vs. glycerol plasticized whey protein ediblefilms: integrated oxygen permeability and tensile property evaluation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42: 841-850.

McHugh, T.H y Krochta, J.M. (1994^b). Milk-protein-based edible films and coatings. *Food Technology*. 48: 97-103. Sapru, V. y Labuza, T.P. 1994. Dispersed

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

phase concentration-effect on water-vapor permeability in composite methyl cellulose-stearic acid edible films. *Journal of Food Processing and Preservation*, 18: 359-368.

Min, 2005. Inhibition of *Penicillium* by edible whey protein films incorporating lactoferrin. *Food Science*. 70:2.

Nussinovitch, A., Ward, G. y Lurie, S. 1996. Nondestructive measurement of peel gloss and roughness to determine tomato fruit ripening and chilling injury. *Journal of Food Science*, 61: 383-387.

P. Barreiro, M. Ruiz-Altisent. (1996). Propiedades mecánicas y calidad de frutos. Definiciones y medidas instrumentales. Madrid, España ETSIA. Dpto. Ingeniería rural. Fruticultura

“Semillas de chía“. Información recopilada por el Servicio Técnico de: Bio-Ener S.L. Barcelona-profesional n° 77 marzo/abril 1996

Tharanathan, R.N. (2003). Biodegradable films and composite coatings: past, present and future: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 14: 71-78.

Tippens Paul E. (1987). Física, conceptos y aplicaciones tercera edición Ed Mc Graw-Hill p 253-259.

Oswaldo Di Sapio, Miriam Bueno, Héctor Busilacchi, Mirta Quiroga & Cecilia Severin. (2012). Caracterización morfoanatómica de hoja, tallo, fruto y semilla de *Salvia hispánica* L. (Lamiaceae). *Boletín latinoamericano y del caribe de plantas medicinales y aromáticas*.

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Ozdemi, M and Floros, J. D. 2008. Optimization of edible whey protein films containing preservatives for water vapor permeability, water solubility and sensory characteristics. J of food engineering. 86:2, 215-224.

Pretsch E., Bühlmann P. & Affolder C. (2000). Structure Determination of Organic Compounds. Tables of spectral data. 3rd ed. Berlib: Springer. 421p.

Reineccius, G.A. (1994). Flavor encapsulation. In: Edible coating and films to improve food quality, Krochta, J.M., Baldwin, E.A. and Nisperos-Carriedo, M.O., Eds., Technomic Publishing Co. Inc., Basel, pp. 105

Rooney.(2002). Antimicrobial food packing in meat industry. Meat Science 62:3.

Rowe, R.C. (1978). The measurement of the adhesión of film coating to tablet surface: the efect of tablet porosity, surface roughness and film thickness. Journal of Pharmaceutical Science, 30: 343-346.

Villaseñor, M. A. (2008). Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucílago del nopal (*opuntia ficus-indica*). Tesis doctoral.

Zamudio-Flores Paul B, Bello-Pérez Luis A., Vargas-Torres Apolonio. (2007). Caracterización parcial de películas preparadas con almidón oxidado de plátano. Agrociencia. Morelos, México.

8. ANEXOS

ANEXO I. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PROPIEDADES REOLÓGICAS

Niveles de viscosidad para diferentes concentraciones de Pectina cítrica

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

TRATAMIENTO*	VISCOSIDAD
T1	4.6
T2	6.8
T3	6.8
T4	6.8
T5	7.7
T6	10.5
T7	10.1
T8	14.6
• Los T9	19.7

datos son reportados de acuerdo a tratamientos de una velocidad de 100 RPM

Modelo lineal general: VIS .4 vs. T

Factor Tipo Niveles Valores
 T fijo 5 1; 2; 3; 4; 5

Análisis de varianza para VIS .4, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	4	30,1160	30,1160	7,5290	13,27	0,001	
Error	10	5,6733	5,6733	0,5673			
Total	14	35,7893					

S = 0,753215 R-cuad. = 84,15% R-cuad.(ajustado) = 77,81%

Observaciones inusuales de VIS .4

Obs	VIS .4	Ajuste	ajuste	Residuo	Residuo estándar
5	3,00000	1,60000	0,43487	1,40000	2,28 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

T	N	Media	Agrupación
5	3	4,6	A
4	3	3,0	A B
3	3	2,3	B C
2	3	1,6	B C
1	3	0,4	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Modelo lineal general: VIS .5 vs. T

Factor Tipo Niveles Valores
 T fijo 5 1; 2; 3; 4; 5

Análisis de varianza para VIS .5, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	4	26,051	26,051	6,513	4,24	0,029	
Error	10	15,353	15,353	1,535			
Total	14	41,404					

S = 1,23909 R-cuad. = 62,92% R-cuad.(ajustado) = 48,09%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

T N Media Agrupación

5	3	5,5	A
4	3	4,7	A B
3	3	4,3	A B
2	3	3,8	A B
1	3	1,6	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: VIS .6 vs. T

Factor Tipo Niveles Valores
 T fijo 5 1; 2; 3; 4; 5

Análisis de varianza para VIS .6, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	4	34,203	34,203	8,551	2,82	0,084	
Error	10	30,347	30,347	3,035			
Total	14	64,549					

S = 1,74203 R-cuad. = 52,99% R-cuad.(ajustado) = 34,18%

Observaciones inusuales de VIS .6

Obs	VIS .6	EE de Ajuste	Residuo ajuste	Residuo estándar
2	6,00000	2,40000	1,00576	3,60000 2,53 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

T N Media Agrupación

5	3	6,8	A
4	3	6,0	A
3	3	5,8	A

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

2 3 5,0 A

1 3 2,4 A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: VIS .7 vs. T

Factor Tipo Niveles Valores

T fijo 5 1; 2; 3; 4; 5

Análisis de varianza para VIS .7, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	4	47,067		47,067	11,767	2,60	0,101
Error	10	45,287		45,287		4,529	
Total	14	92,353					

S = 2,12807 R-cuad. = 50,96% R-cuad.(ajustado) = 31,35%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

T N Media Agrupación

5 3 6,8 A

4 3 5,9 A

3 3 5,4 A

2 3 5,0 A

1 3 1,6 A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: VIS .8 vs. T

Factor Tipo Niveles Valores

T fijo 5 1; 2; 3; 4; 5

Análisis de varianza para VIS .8, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	4	7,84		7,84	1,96	0,14	0,965
Error	10	144,49		144,49		14,45	
Total	14	152,33					

S = 3,80123 R-cuad. = 5,14% R-cuad.(ajustado) = 0,00%

Observaciones inusuales de VIS .8

Obs	VIS .8	Ajuste	ajuste	Residuo	Residuo estándar
1	0,0000	8,4000	2,1946	-8,4000	-2,71 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

T	N	Media	Agrupación
2	3	9,7	A
3	3	8,6	A
1	3	8,4	A
4	3	7,8	A
5	3	7,7	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: VIS .9 vs. T

Factor Tipo Niveles Valores

T fijo 5 1; 2; 3; 4; 5

Análisis de varianza para VIS .9, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	4	29,58	29,58	7,39	0,30	0,869	
Error	5	125,00	125,00	25,00			
Total	9	154,58					

S = 5 R-cuad. = 19,13% R-cuad.(ajustado) = 0,00%

Observaciones inusuales de VIS .9

Obs	VIS .9	EE de Ajuste	Residuo ajuste	Residuo estandar
1	0,0000	7,8000	3,5355	-7,8000 -2,21 R
2	15,6000	7,8000	3,5355	7,8000 2,21 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

T	N	Media	Agrupación
2	2	12,8	A
3	2	12,1	A
4	2	10,9	A
5	2	10,5	A
1	2	7,8	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: VIS 1 vs. T

Factor Tipo Niveles Valores

T fijo 5 1; 2; 3; 4; 5

Análisis de varianza para VIS 1, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	4	18,55	18,55	4,64	0,09	0,983	

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Error	10	505,15	505,15	50,51
Total	14	523,70		

S = 7,10737 R-cuad. = 3,54% R-cuad.(ajustado) = 0,00%
 Observaciones inusuales de VIS 1

Obs	VIS 1	EE de Ajuste	Residuo ajuste	Residuo estándar
1	0,0000	12,4000	4,1034	-12,4000 -2,14 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.
 Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

T	N	Media	Agrupación
2	3	13,0	A
1	3	12,4	A
3	3	11,3	A
4	3	10,4	A
5	3	10,1	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: VIS 1.5 vs. T

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	5	1; 2; 3; 4; 5

Análisis de varianza para VIS 1.5, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	4	35,86	35,86	8,96	0,22	0,923	
Error	10	412,24	412,24	41,22			
Total	14	448,10					

S = 6,42059 R-cuad. = 8,00% R-cuad.(ajustado) = 0,00%
 Observaciones inusuales de VIS 1.5

Obs	VIS 1.5	EE de Ajuste	Residuo ajuste	Residuo estándar
1	0,0000	16,0000	3,7069	-16,0000 -3,05 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

T	N	Media	Agrupación
---	---	-------	------------

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

2	3	19,0	A
3	3	17,0	A
1	3	16,0	A
4	3	15,2	A
5	3	14,6	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: VIS 2 vs. T

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	5	1; 2; 3; 4; 5

Análisis de varianza para VIS 2, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	4	123,58	123,58	30,90	0,34	0,842	
Error	10	897,99	897,99	89,80			
Total	14	1021,58					

S = 9,47625 R-cuad. = 12,10% R-cuad.(ajustado) = 0,00%

Observaciones inusuales de VIS 2

	EE de	Residuo	
Obs	VIS 2	Ajuste	ajuste Residuo estándar
1	0,0000	19,6000	5,4711 -19,6000 -2,53 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

T	N	Media	Agrupación
2	3	26,8	A
3	3	24,7	A
4	3	21,2	A
5	3	19,7	A
1	3	19,6	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: VIS vs. T

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	9	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9

Análisis de varianza para VIS, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	8	540,898	540,898	67,612	13,96	0,000	
Error	17	82,320	82,320	4,842			
Total	25	623,218					

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

S = 2,20053 R-cuad. = 86,79% R-cuad.(ajustado) = 80,58%

Observaciones inusuales de VIS

	EE de	Residuo			
Obs	VIS	Ajuste	ajuste	Residuo	estándar
19	13,7000	10,1000	1,2705	3,6000	2,00 R
25	15,4000	19,7333	1,2705	-4,3333	-2,41 R
26	24,7000	19,7333	1,2705	4,9667	2,76 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

T	N	Media	Agrupación
9	3	19,7	A
8	3	14,6	A B
6	2	10,5	B C
7	3	10,1	B C
5	3	7,7	C
3	3	6,8	C
4	3	6,8	C
2	3	6,8	C
1	3	4,6	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Niveles de viscosidad para diferentes concentraciones de mucílago de chí

Concentración*	Viscosidad
21%	92
23%	115,7
30%	233,6
35%	317,6
40%	464,3

*Los valores se reportan con una velocidad de 5 RPM.

Modelo lineal general: VIS 21% vs. T

Factor Tipo Niveles Valores

T fijo 5 1; 2; 3; 4; 5

Análisis de varianza para VIS 21%, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	4	12689,9	12689,9	3172,5	177,72	0,000	
Error	10	178,5	178,5	17,9			

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Total 14 12868,4

S = 4,22508 R-cuad. = 98,61% R-cuad.(ajustado) = 98,06%
Observaciones inusuales de VIS 21%

EE de	Residuo
Obs VIS 21% Ajuste	ajuste Residuo estándar
7 37,0000 26,3333	2,4394 10,6667 3,09 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

T	N	Media	Agrupación
1	3	92,0	A
2	3	58,0	B
3	3	26,3	C
4	3	19,8	C D
5	3	14,9	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: VIS 23% vs. T

Factor Tipo Niveles Valores

T fijo 5 1; 2; 3; 4; 5

Análisis de varianza para VIS 23%, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	4	19538,2	19538,2	4884,5	347,00	0,000	
Error	10	140,8	140,8	14,1			
Total	14	19679,0					

S = 3,75189 R-cuad. = 99,28% R-cuad.(ajustado) = 99,00%
Observaciones inusuales de VIS 23%

EE de	Residuo
Obs VIS 23% Ajuste	ajuste Residuo estándar
5 61,200 67,800	2,166 -6,600 -2,15 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

T	N	Media	Agrupación
1	3	115,7	A
2	3	67,8	B
3	3	40,2	C

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

4	3	24,2	D
5	3	16,1	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: VIS 30% vs. T

Factor Tipo Niveles Valores

T fijo 5 1; 2; 3; 4; 5

Análisis de varianza para VIS 30%, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	4	78085	78085	19521	1757,93	0,000	
Error	10	111	111	11			
Total	14	78196					

S = 3,33237 R-cuad. = 99,86% R-cuad.(ajustado) = 99,80%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

T N Media Agrupación

1 3 233,6 A

2 3 134,8 B

3 3 86,1 C

4 3 49,0 D

5 3 33,3 E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

Modelo lineal general: VIS 35% vs. T

Factor Tipo Niveles Valores

T fijo 5 1; 2; 3; 4; 5

Análisis de varianza para VIS 35%, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	4	148376	148376	37094	3230,63	0,000	
Error	10	115	115	11			
Total	14	148491					

S = 3,38851 R-cuad. = 99,92% R-cuad.(ajustado) = 99,89%

Observaciones inusuales de VIS 35%

Obs	VIS 35%	Ajuste	ajuste	Residuo	Residuo estándar
5	192,600	186,733	1,956	5,867	2,12 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

T N Media Agrupación

1 3 317,6 A

2 3 186,7 B

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

3 3 116,4 C
 4 3 64,3 D
 5 3 42,0 E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: VIS 40% vs. T

Factor Tipo Niveles Valores

T fijo 4 1; 2; 3; 4

Análisis de varianza para VIS 40%, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec. SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	240580	240580	80193	64,31	0,000
Error	8	9975	9975	1247		
Total	11	250556				

T 3 240580 240580 80193 64,31 0,000

Error 8 9975 9975 1247

Total 11 250556

S = 35,3119 R-cuad. = 96,02% R-cuad.(ajustado) = 94,53%

Observaciones inusuales de VIS 40%

Obs	VIS 40%	Ajuste	ajuste	Residuo	Residuo estándar
4	392,800	316,267	20,387	76,533	2,65 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

T N Media Agrupación

1 3 464,3 A
 2 3 316,3 B
 3 3 170,5 C
 4 3 94,8 C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: VIS vs. T

Factor Tipo Niveles Valores

T fijo 5 1; 2; 3; 4; 5

Análisis de varianza para VIS, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec. SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	4	280878	280878	70220	559,69	0,000
Error	10	1255	1255	125		
Total	14	282133				

T 4 280878 280878 70220 559,69 0,000

Error 10 1255 1255 125

Total 14 282133

S = 11,2010 R-cuad. = 99,56% R-cuad.(ajustado) = 99,38%

Observaciones inusuales de VIS

Obs	VIS	Ajuste	ajuste	Residuo	Residuo estándar
14	492,000	464,333	6,467	27,667	3,03 R

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

T	N	Media	Agrupación
5	3	464,3	A
4	3	317,6	B
3	3	233,6	C
2	3	115,7	D
1	3	92,0	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO II. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ACTIVIDAD ACUOSA

Modelo de actividad acuosa en pectina cítrica

Modelo lineal general: AW vs. T

Factor Tipo Niveles Valores

T fijo 9 T1; T2; T3; T4; T5; T6; T7; T8; T9

Análisis de varianza para AW, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	8	0,093654	0,093654	0,011707	5,14	0,002	
Error	18	0,040981	0,040981	0,002277			
Total	26	0,134635					

S = 0,0477148 R-cuad. = 69,56% R-cuad.(ajustado) = 56,03%

Observaciones inusuales de AW

Obs	AW	Ajuste	EE de ajuste	Residuo	Residuo estándar
4	0,554000	0,436000	0,027548	0,118000	3,03 R
5	0,337000	0,436000	0,027548	-0,099000	-2,54 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

T	N	Media	Agrupación
---	---	-------	------------

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

T2	3	0,4	A
T1	3	0,4	A
T3	3	0,4	A B
T4	3	0,3	A B
T5	3	0,3	A B
T7	3	0,3	A B
T6	3	0,3	A B
T8	3	0,3	B
T9	3	0,3	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo de actividad acuosa en mucílago de chía

Modelo lineal general: AW vs. T

Factor Tipo Niveles Valores

T fijo 6 T1; T2; T3; T4; T5; T6

Análisis de varianza para AW, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	5	0,0474553	0,0474553	0,0094911	56,70	0,000
Error	12	0,0020087	0,0020087	0,0001674		
Total	17	0,0494640				

S = 0,0129379 R-cuad. = 95,94% R-cuad.(ajustado) = 94,25%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

T N Media Agrupación

T6	3	0,5	A
T2	3	0,4	B
T5	3	0,4	C
T3	3	0,3	C
T4	3	0,3	C
T1	3	0,3	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO III. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PROPIEDADES MECÁNICAS

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

DEFORMACIÓN Y ESFUERZO DE PECTINA

Modelo lineal general: DEFORMACIÓN vs. T

Factor Tipo Niveles Valores

T fijo 9 T1; T2; T3; T4; T5; T6; T7; T8; T9

Análisis de varianza para DEFOR, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	8	0,5465	0,5465	0,0683	0,29	0,968	
Error	738	172,0625	172,0625	0,2331			
Total	746	172,6090					

S = 0,482853 R-cuad. = 0,32% R-cuad.(ajustado) = 0,00%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

T N Media Agrupación

T1 84 0,8 A

T8 84 0,8 A

T3 84 0,8 A

T7 84 0,8 A

T6 84 0,8 A

T4 84 0,8 A

T2 84 0,8 A

T5 84 0,8 A

T9 75 0,7 A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: ESFUERZO vs. T

Factor Tipo Niveles Valores

T fijo 9 T1; T2; T3; T4; T5; T6; T7; T8; T9

Análisis de varianza para ESFUER, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	8	10,2932	10,2932	1,2867	80,85	0,000	
Error	738	11,7443	11,7443	0,0159			
Total	746	22,0376					

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

S = 0,126150 R-cuad. = 46,71% R-cuad.(ajustado) = 46,13%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

T	N	Media	Agrupación
T1	84	0,5	A
T9	75	0,2	B
T4	84	0,2	B C
T3	84	0,2	B C
T2	84	0,1	C D
T8	84	0,1	D
T5	84	0,1	D
T7	84	0,1	D
T6	84	0,1	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo para películas de mucílago de chía

Modelo lineal general: DEFORMACION vs. T

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	6	T1; T2; T3; T4; T5; T6

Análisis de varianza para DEFOR, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	5	0,000	0,000	0,000	0,00	1,000	
Error	1620	3975,999	3975,999		2,454		
Total	1625	3975,999					

S = 1,56663 R-cuad. = 0,00% R-cuad.(ajustado) = 0,00%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

T	N	Media	Agrupación
T6	271	2,7	A
T1	271	2,7	A
T4	271	2,7	A
T2	271	2,7	A
T3	271	2,7	A
T5	271	2,7	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: ESFUERZO vs. T

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	6	T1; T2; T3; T4; T5; T6

Análisis de varianza para ESF, utilizando SC ajustada para pruebas

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	5	673,41	673,41	134,68	84,68	0,000	
Error	1620	2576,61	2576,61		1,59		
Total	1625	3250,02					

S = 1,26115 R-cuad. = 20,72% R-cuad.(ajustado) = 20,48%
 Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95,0%

T	N	Media	Agrupación
T6	271	2,7	A
T4	271	2,7	A
T5	271	2,0	B
T3	271	1,9	B
T2	271	1,3	C
T1	271	1,0	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO IV. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE COLOR

PELICULAS DE PECTINA

Modelo lineal general: luminosidad de películas de pectina vs. T

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	9	T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9

Análisis de varianza para C, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
T	8	172.267	172.267	21.533	3.31	0.003	
Error	63	410.099	410.099		6.510		
Total	71	582.36					

S = 2.55137 R-cuad. = 29.58% R-cuad.(ajustado) = 20.64%

Observaciones inusuales de C

EE de Residuo

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Obs	C	Ajuste	ajuste	Residuo	estándar
10	84.8300	79.4425	0.9020	5.3875	2.26 R
12	71.2300	79.4425	0.9020	-8.2125	-3.44 R
13	73.5900	79.4425	0.9020	-5.8525	-2.45 R
14	69.9900	79.4425	0.9020	-9.4525	-3.96 R
16	85.7200	79.4425	0.9020	6.2775	2.63 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
T4	8	84.95	A
T5	8	84.54	A
T6	8	84.44	A
T3	8	84.23	A
T9	8	83.94	A
T1	8	83.66	A
T7	8	83.45	A B
T8	8	82.99	A B
T2	8	79.44	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: Coordenada de cromaticidad “a” de pectina vs. T

Factor Tipo Niveles Valores

T fijo 9 T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9

Análisis de varianza para C, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
T	8	1.32325	1.32325	0.16541	7.63	0.000	
Error	63	1.36594	1.36594	0.02168			
Total	71	2.68919					

S = 0.147247 R-cuad. = 49.21% R-cuad.(ajustado) = 42.76%

Observaciones inusuales de C

Obs	C	Ajuste	EE de ajuste	Residuo	estándar
1	0.050000	0.495000	0.052060	-0.445000	-3.23 R
70	-0.240000	0.128750	0.052060	-0.368750	-2.68 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

T	N	Media	Agrupación
T7	8	0.6050	A
T4	8	0.5763	A
T1	8	0.4950	A B
T5	8	0.4525	A B
T2	8	0.4325	A B
T6	8	0.4038	A B
T8	8	0.3337	B C
T3	8	0.3337	B C
T9	8	0.1287	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: Coordenada de cromaticidad "b" de vs. T

Factor Tipo Niveles Valores

T fijo 9 T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9

Análisis de varianza para C, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
T	8	115.022	115.022	14.378	11.20	0.000	
Error	63	80.868	80.868	1.284			
Total	71	195.890					

S = 1.13297 R-cuad. = 58.72% R-cuad.(ajustado) = 53.48%

Observaciones inusuales de C

Obs	C	EE de Ajuste	Residuo ajuste estándar	Residuo	Residuo estándar
1	4.32000	1.15750	0.40057	3.16250	2.98 R
62	5.24000	2.91750	0.40057	2.32250	2.19 R
70	8.87000	4.84000	0.40057	4.03000	3.80 R
71	8.14000	4.84000	0.40057	3.30000	3.11 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
T9	8	4.8400	A
T8	8	2.9175	B
T3	8	2.0975	B C
T6	8	1.5850	B C
T2	8	1.1813	B C
T1	8	1.1575	B C
T7	8	1.0825	C

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

T5 8 0.9950 C
T4 8 0.4600 C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

PELICULAS DE CHIA

Modelo lineal general: luminosidad vs. T

Factor Tipo Niveles Valores
T fijo 6 T1, T2, T3, T4, T5, T6

Análisis de varianza para c, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
T	5	23.0745	23.0745	4.6149	5.94	0.000	
Error	42	32.6287	32.6287	0.7769			
Total	47	55.7032					

S = 0.881404 R-cuad. = 41.42% R-cuad.(ajustado) = 34.45%

Observaciones inusuales de c

Obs	c	Ajuste	ajuste	Residuo	Residuo estándar
1	79.8900	81.8667	0.3116	-1.9767	-2.40 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
T2	8	82.44	A
T1	8	81.87	A B
T6	8	80.98	B C
T5	8	80.88	B C
T4	8	80.76	B C
T3	8	80.45	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: Coordenada de cromaticidad "a" vs. T

Factor Tipo Niveles Valores
T fijo 6 T1, T2, T3, T4, T5, T6

Análisis de varianza para C, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
T	5	2.16214	2.16214	0.43243	27.43	0.000	

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Error 42 0.66221 0.66221 0.01577
 Total 47 2.82435

S = 0.125566 R-cuad. = 76.55% R-cuad.(ajustado) = 73.76%

Observaciones inusuales de C

Obs	C	Ajuste	EE de ajuste	Residuo	Residuo estándar
29	-0.010000	0.225000	0.044394	-0.235000	-2.00 R
34	0.350000	0.115000	0.044394	0.235000	2.00 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
T1	8	0.64500	A
T2	8	0.49625	A
T3	8	0.30000	B
T4	8	0.22500	B
T5	8	0.11500	B C
T6	8	0.03000	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: Coordenada de cromaticidad "a" vs. T

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	6	T1, T2, T3, T4, T5, T6

Análisis de varianza para c, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
T	5	35.2439	35.2439	7.0488	20.60	0.000	
Error	42	14.3725	14.3725	0.3422			
Total	47	49.6164					

S = 0.584980 R-cuad. = 71.03% R-cuad.(ajustado) = 67.58%
 Observaciones inusuales de c

Obs	c	Ajuste	EE de ajuste	Residuo	Residuo estándar
6	1.25000	2.47167	0.20682	-1.22167	-2.23 R
35	2.95000	4.06750	0.20682	-1.11750	-2.04 R
41	5.82000	4.56875	0.20682	1.25125	2.29 R

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T N Media Agrupación

T6 8 4.569 A

T4 8 4.332 A

T5 8 4.067 A

T2 8 2.849 B

T3 8 2.624 B

T1 8 2.472 B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO V. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE SOLUBILIDAD

PELICULAS DE PECTINA

Modelo lineal general: 5 MIN vs. T

Factor Tipo Niveles Valores

t fijo 9 t1, t2, t3, t4, t5, t6, t7, t8, t9

Análisis de varianza para c, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente GL SC Sec. SC Ajust. MC Ajust. F P

t 8 1.77852 1.77852 0.22231 7.90 0.000

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Error 18 0.50667 0.50667 0.02815
 Total 26 2.28519

S = 0.167774 R-cuad. = 77.83% R-cuad.(ajustado) = 67.97%

Observaciones inusuales de c

Obs	c	Ajuste	EE de ajuste	Residuo estándar	Residuo
25	1.10000	0.76667	0.09686	0.33333	2.43 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

t N Media Agrupación

t3	3	1.6667	A
t4	3	1.6333	A
t8	3	1.5667	A
t7	3	1.3333	A
t6	3	1.3000	A
t1	3	1.3000	A
t2	3	1.2667	A
t5	3	1.2333	A B
t9	3	0.7667	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: 10 MIN vs. T

Factor Tipo Niveles Valores

T fijo 9 t1, t2, t3, t4, t5, t6, t7, t8, t9

Análisis de varianza para C, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
T	8	1.67407	1.67407	0.20926	9.42	0.000	
Error	18	0.40000	0.40000	0.02222			
Total	26	2.07407					

S = 0.149071 R-cuad. = 80.71% R-cuad.(ajustado) = 72.14%

Observaciones inusuales de C

Obs	C	Ajuste	EE de ajuste	Residuo estándar	Residuo

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

23 1.90000 1.63333 0.08607 0.26667 2.19 R
 27 0.80000 1.10000 0.08607 -0.30000 -2.46 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T N Media Agrupación

t3 3 1.933 A
 t7 3 1.800 A B
 t4 3 1.800 A B
 t2 3 1.767 A B
 t1 3 1.700 A B
 t8 3 1.633 A B
 t5 3 1.400 B C
 t6 3 1.400 B C
 t9 3 1.100 C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: 15 MIN vs. T

Factor Tipo Niveles Valores

T fijo 9 t1, t2, t3, t4, t5, t6, t7, t8, t9

Análisis de varianza para C, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
T	8	1.58519	1.58519	0.19815	6.63	0.000	
Error	18	0.53833	0.53833	0.02991			
Total	26	2.12352					

S = 0.172938 R-cuad. = 74.65% R-cuad.(ajustado) = 63.38%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T N Media Agrupación

t8 3 2.100 A
 t3 3 2.000 A B
 t2 3 1.967 A B
 t7 3 1.967 A B
 t4 3 1.967 A B
 t5 3 1.867 A B
 t1 3 1.850 A B
 t6 3 1.600 B C
 t9 3 1.267 C

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: 20 MIN vs. T

Factor Tipo Niveles Valores
 T fijo 9 t1, t2, t3, t4, t5, t6, t7, t8, t9

Análisis de varianza para C, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
T	8	0.75074	0.75074	0.09384	3.91	0.008	
Error	18	0.43167	0.43167	0.02398			
Total	26	1.18241					

S = 0.154860 R-cuad. = 63.49% R-cuad.(ajustado) = 47.27%

Observaciones inusuales de C

Obs	C	EE de Ajuste	Residuo ajuste	Residuo estándar
27	1.20000	1.56667	0.08941	-0.36667

-2.90 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
t2	3	2.100	A
t7	3	2.067	A
t4	3	2.000	A B
t3	3	1.967	A B
t5	3	1.967	A B
t1	3	1.950	A B
t8	3	1.800	A B
t6	3	1.700	A B
t9	3	1.567	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: 25 MIN vs. T

Factor Tipo Niveles Valores
 T fijo 9 t1, t2, t3, t4, t5, t6, t7, t8, t9

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Análisis de varianza para C, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
T	8	0.80852	0.80852	0.10106	5.60	0.001	
Error	18	0.32500	0.32500	0.01806			
Total	26	1.13352					

S = 0.134371 R-cuad. = 71.33% R-cuad.(ajustado) = 58.59%

Observaciones inusuales de C

Obs	C	EE de Ajuste	Residuo ajuste	Residuo estándar
27	1.30000	1.60000	0.07758	-0.30000 -2.73 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
t5	3	2.167	A
t2	3	2.100	A B
t7	3	2.067	A B
t1	3	2.050	A B
t4	3	2.000	A B
t3	3	2.000	A B
t8	3	1.900	A B C
t6	3	1.733	B C
t9	3	1.600	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: 30 MIN vs. T

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	9	t1, t2, t3, t4, t5, t6, t7, t8, t9

Análisis de varianza para C, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
T	8	0.81074	0.81074	0.10134	5.09	0.002	
Error	18	0.35833	0.35833	0.01991			
Total	26	1.16907					

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

S = 0.141094 R-cuad. = 69.35% R-cuad.(ajustado) = 55.73%

Observaciones inusuales de C

Obs	C	EE de Ajuste	Residuo ajuste	Residuo estándar	
9	1.80000	2.03333	0.08146	-0.23333	-2.03 R
27	1.30000	1.60000	0.08146	-0.30000	-2.60 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
t5	3	2.167	A
t2	3	2.100	A B
t7	3	2.067	A B
t1	3	2.050	A B
t3	3	2.033	A B
t4	3	2.000	A B C
t8	3	1.933	A B C
t6	3	1.733	B C
t9	3	1.600	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: 5 MIN vs. T

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	6	t1, t2, t3, t4, t5, t6

Análisis de varianza para C, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
T	5	0.53778	0.53778	0.10756	9.68	0.001	
Error	12	0.13333	0.13333	0.01111			
Total	17	0.67111					

S = 0.105409 R-cuad. = 80.13% R-cuad.(ajustado) = 71.85%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
---	---	-------	------------

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

t5 3 1.0000 A
t6 3 0.8000 A B
t4 3 0.6333 B C
t3 3 0.6000 B C
t1 3 0.5333 B C
t2 3 0.5000 C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: 10 MIN vs. T

Factor Tipo Niveles Valores
T fijo 6 t1, t2, t3, t4, t5, t6

Análisis de varianza para C, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
T	5	0.336111	0.336111	0.067222	8.07	0.002
Error	12	0.100000	0.100000	0.008333		
Total	17	0.436111				

S = 0.0912871 R-cuad. = 77.07% R-cuad.(ajustado) = 67.52%

Observaciones inusuales de C

Obs	C	EE de Ajuste	Residuo Residuo estándar
8	0.50000	0.66667	0.05270 -0.16667 -2.24 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T N Media Agrupación
t5 3 1.0000 A
t6 3 0.8000 A B
t4 3 0.6667 B
t3 3 0.6667 B
t1 3 0.6333 B
t2 3 0.6000 B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Modelo lineal general: 15 MIN vs. T

Factor Tipo Niveles Valores
T fijo 6 t1, t2, t3, t4, t5, t6

Análisis de varianza para C, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
T	5	0.276111	0.276111	0.055222	8.28	0.001	
Error	12	0.080000	0.080000	0.006667			
Total	17	0.356111					

S = 0.0816497 R-cuad. = 77.54% R-cuad.(ajustado) = 68.17%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
t5	3	1.0000	A
t6	3	0.8333	A B
t4	3	0.7667	B C
t1	3	0.7333	B C
t3	3	0.7000	B C
t2	3	0.6000	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: 20 MIN vs. T

Factor Tipo Niveles Valores
T fijo 6 t1, t2, t3, t4, t5, t6

Análisis de varianza para C, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
T	5	0.291667	0.291667	0.058333	9.55	0.001	
Error	12	0.073333	0.073333	0.006111			
Total	17	0.365000					

S = 0.0781736 R-cuad. = 79.91% R-cuad.(ajustado) = 71.54%

Observaciones inusuales de C

Obs	C	EE de Ajuste	Residuo ajuste	Residuo estándar
13	1.20000	1.03333	0.04513	0.16667 2.61 R

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

15 0.90000 1.03333 0.04513 -0.13333 -2.09 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T N Media Agrupación

t5 3 1.0333 A

t6 3 0.8333 A B

t4 3 0.7667 B

t3 3 0.7333 B

t1 3 0.7000 B

t2 3 0.6333 B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: 25 MIN vs. T

Factor Tipo Niveles Valores

T fijo 6 t1, t2, t3, t4, t5, t6

Análisis de varianza para C, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
T	5	0.376111	0.376111	0.075222	9.67	0.001	
Error	12	0.093333	0.093333	0.007778			
Total	17	0.469444					

S = 0.0881917 R-cuad. = 80.12% R-cuad.(ajustado) = 71.83%

Observaciones inusuales de C

Obs	C	Ajuste	EE de ajuste	Residuo Residuo estándar
13	1.30000	1.10000	0.05092	0.20000 2.78 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T N Media Agrupación

t5 3 1.1000 A

t6 3 0.8333 B

t4 3 0.7667 B

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

t3 3 0.7667 B
t1 3 0.7333 B
t2 3 0.6333 B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: 30 MIN vs. T

Factor Tipo Niveles Valores
T fijo 6 t1, t2, t3, t4, t5, t6

Análisis de varianza para C, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
T	5	0.424444	0.424444	0.084889	15.28	0.000
Error	12	0.066667	0.066667	0.005556		
Total	17	0.491111				

S = 0.0745356 R-cuad. = 86.43% R-cuad.(ajustado) = 80.77%

Observaciones inusuales de C

Obs	C	EE de Ajuste	Residuo ajuste	Residuo estándar
13	1.30000	1.13333	0.04303	0.16667 2.74 R
14	1.00000	1.13333	0.04303	-0.13333 -2.19 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T N Media Agrupación
t5 3 1.1333 A
t6 3 0.8667 B
t4 3 0.8000 B
t3 3 0.7667 B
t1 3 0.7000 B
t2 3 0.6667 B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

PELICULAS DE CHIA

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Modelo lineal general: 5 MIN vs. T

Factor Tipo Niveles Valores
 T fijo 6 t1, t2, t3, t4, t5, t6

Análisis de varianza para C, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
T	5	0.53778	0.53778	0.10756	9.68	0.001	
Error	12	0.13333	0.13333	0.01111			
Total	17	0.67111					

S = 0.105409 R-cuad. = 80.13% R-cuad.(ajustado) = 71.85%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
t5	3	1.0000	A
t6	3	0.8000	A B
t4	3	0.6333	B C
t3	3	0.6000	B C
t1	3	0.5333	B C
t2	3	0.5000	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: 10 MIN vs. T

Factor Tipo Niveles Valores
 T fijo 6 t1, t2, t3, t4, t5, t6

Análisis de varianza para C, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
T	5	0.336111	0.336111	0.067222	8.07	0.002	
Error	12	0.100000	0.100000	0.008333			
Total	17	0.436111					

S = 0.0912871 R-cuad. = 77.07% R-cuad.(ajustado) = 67.52%

Observaciones inusuales de C

Obs	C	Ajuste	EE de ajuste	Residuo	Residuo estandar
8	0.50000	0.66667	0.05270	-0.16667	-2.24 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

T	N	Media	Agrupación
t5	3	1.0000	A
t6	3	0.8000	A B
t4	3	0.6667	B
t3	3	0.6667	B
t1	3	0.6333	B
t2	3	0.6000	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: 15 MIN vs. T

Factor Tipo Niveles Valores

T fijo 6 t1, t2, t3, t4, t5, t6

Análisis de varianza para C, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
T	5	0.276111	0.276111	0.055222	8.28	0.001	
Error	12	0.080000	0.080000	0.006667			
Total	17	0.356111					

S = 0.0816497 R-cuad. = 77.54% R-cuad.(ajustado) = 68.17%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
t5	3	1.0000	A
t6	3	0.8333	A B
t4	3	0.7667	B C
t1	3	0.7333	B C
t3	3	0.7000	B C
t2	3	0.6000	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: 20 MIN vs. T

Factor Tipo Niveles Valores

T fijo 6 t1, t2, t3, t4, t5, t6

Análisis de varianza para C, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
T	5	0.291667	0.291667	0.058333	9.55	0.001	
Error	12	0.073333	0.073333	0.006111			
Total	17	0.365000					

S = 0.0781736 R-cuad. = 79.91% R-cuad.(ajustado) = 71.54%

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Observaciones inusuales de C

Obs	C	EE de Ajuste	Residuo ajuste	Residuo estándar	
13	1.20000	1.03333	0.04513	0.16667	2.61 R
15	0.90000	1.03333	0.04513	-0.13333	-2.09 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
t5	3	1.0333	A
t6	3	0.8333	A B
t4	3	0.7667	B
t3	3	0.7333	B
t1	3	0.7000	B
t2	3	0.6333	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: 25 MIN vs. T

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	6	t1, t2, t3, t4, t5, t6

Análisis de varianza para C, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
T	5	0.376111	0.376111	0.075222	9.67	0.001	
Error	12	0.093333	0.093333	0.007778			
Total	17	0.469444					

S = 0.0881917 R-cuad. = 80.12% R-cuad.(ajustado) = 71.83%

Observaciones inusuales de C

Obs	C	EE de Ajuste	Residuo ajuste	Residuo estándar	
13	1.30000	1.10000	0.05092	0.20000	2.78 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
t5	3	1.1000	A

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

t6	3	0.8333	B
t4	3	0.7667	B
t3	3	0.7667	B
t1	3	0.7333	B
t2	3	0.6333	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: 30 MIN vs. T

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	fijo	6	t1, t2, t3, t4, t5, t6

Análisis de varianza para C, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
T	5	0.424444	0.424444	0.084889	15.28	0.000	
Error	12	0.066667	0.066667	0.005556			
Total	17	0.491111					

S = 0.0745356 R-cuad. = 86.43% R-cuad.(ajustado) = 80.77%

Observaciones inusuales de C

		EE de		Residuo	
Obs	C	Ajuste	ajuste	Residuo estándar	
13	1.30000	1.13333	0.04303	0.16667	2.74 R
14	1.00000	1.13333	0.04303	-0.13333	-2.19 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
t5	3	1.1333	A
t6	3	0.8667	B
t4	3	0.8000	B
t3	3	0.7667	B
t1	3	0.7000	B
t2	3	0.6667	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO VI. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ESPESOR

PELICULAS DE PECTINA

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Modelo lineal general: ESPESOR vs. T

Factor Tipo Niveles Valores

T fijo 9 T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9

Análisis de varianza para C, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
T	8	0.115580	0.115580	0.014447	23.39	0.000	
Error	63	0.038914	0.038914	0.000618			
Total	71	0.154493					

S = 0.0248531 R-cuad. = 74.81% R-cuad.(ajustado) = 71.61%

Observaciones inusuales de C

Obs	C	Ajuste	EE de ajuste	Residuo	Residuo estándar
41	0.064000	0.126000	0.008787	-0.062000	-2.67 R
52	0.192000	0.126571	0.008787	0.065429	2.81 R
62	0.074000	0.140000	0.008787	-0.066000	-2.84 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
T9	8	0.15575	A
T8	8	0.14000	A
T7	8	0.12657	A
T6	8	0.12600	A
T5	8	0.07638	B
T4	8	0.06912	B
T3	8	0.05150	B
T2	8	0.05113	B
T1	8	0.05087	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ESPESOR PELICULAS DE CHIA

Modelo lineal general: ESPESOR vs. T

Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de *Salvia hispánica* y pectina cítrica.

Factor Tipo Niveles Valores
 T fijo 6 T1, T2, T3, T4, T5, T6

Análisis de varianza para C, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
T	5	0.0021764	0.0021764	0.0004353	12.97	0.000	
Error	42	0.0014096	0.0014096	0.0000336			
Total	47	0.0035860					

S = 0.00579332 R-cuad. = 60.69% R-cuad.(ajustado) = 56.01%

Observaciones inusuales de C

Obs	C	Ajuste	EE de ajuste	Residuo	Residuo estándar
23	0.050000	0.062375	0.002048	-0.012375	-2.28 R
27	0.055000	0.066375	0.002048	-0.011375	-2.10 R
31	0.055000	0.066375	0.002048	-0.011375	-2.10 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
T6	8	0.07613	A
T5	8	0.07175	A B
T4	8	0.06638	B C
T3	8	0.06238	C D
T2	8	0.05875	C D
T1	8	0.05750	D

Las medias que no compartan una letra son significativamente diferentes.