

Efecto del contenido de cera de abeja en películas biodegradables a base de tempesquistle (*Sideroxylon palmeri* (Rose) T. D. Penn) sobre sus propiedades mecánicas y permeabilidad a vapor de agua

LAUREANO-LÓPEZ, Bernabé†*, DÍAZ-OREJÁN, Erika Teresa, GARCÍA-SANTOS, Cecilia y HUERTA-GUTIÉRREZ, Anai

Universidad Tecnológica de Tehuacán. Prolongación de la 1 sur No. 1101 San Pablo Tepetzingo, 75859 Tehuacán, Pue.

Recibido 7 de Octubre, 2017; Aceptado 8 de Diciembre, 2017

Resumen

Se evaluó el efecto del contenido de cera de abeja en películas comestibles a base de tempesquistle (*Sideroxylon palmeri* (Rose) T. D. Penn) sobre sus propiedades mecánicas y permeabilidad a vapor de agua. Las soluciones formadoras de películas incluyeron látex de tempesquistle (LT) y cera de abeja (CA) como matriz estructural, glicerol (G) como plastificante y polisorbato (P) como agente emulsificante. Se prepararon cinco formulaciones con distinto contenido en CA (0 %, 15 %, 30 %, 45 % y 60 % en base seca), donde las proporciones LT:G y CA:P se mantuvieron constantes en todas las formulaciones siendo 1:0.5 y 1:0.2 respectivamente. Los resultados mostraron que el espesor de las películas varió en el rango de 0.0476 mm hasta 0.0762 mm. Se encontró relación inversa entre la PVA y la concentración de CA. El esfuerzo de tensión resultó ser significativamente diferente ($p < 0.05$) en los cinco tratamientos evaluados; sus valores obtenidos varían en el rango de 0.765 MPa en el tratamiento que incluyó 60 % cera de abeja hasta 6.84 MPa en el tratamiento control (0 % cera de abeja). Respecto al porcentaje de elongación, los resultados evidenciaron que todos los tratamientos fueron estadísticamente ($p < 0.05$) diferentes.

Películas biodegradables, Permeabilidad a Vapor de Agua, Propiedades mecánicas

Citación: LAUREANO-LÓPEZ, Bernabé, DÍAZ-OREJÁN, Erika Teresa, GARCÍA-SANTOS, Cecilia y HUERTA-GUTIÉRREZ, Anai. Efecto del contenido de cera de abeja en películas biodegradables a base de tempesquistle (*Sideroxylon palmeri* (Rose) T. D. Penn) sobre sus propiedades mecánicas y permeabilidad a vapor de agua. Revista de Operaciones Tecnológicas 2017. 1-4:44-54

Abstract

The effect of content in edible films made with beeswax and tempesquistle (*Sideroxylon palmeri* (Rose) T. D. Penn) was evaluated to determine its mechanical properties and water vapor permeability. The film-forming solutions included tempesquistle latex (LT) and beeswax (CA) as the structural matrix, glycerol (G) as plasticizer and polysorbate (P) as the emulsifying agent. Five formulations with different CA contents were prepared (0%, 15%, 30%, 45% and 60% on dry basis), where the LT: G and CA: P ratios were constant in all formulations being 1:0.5 and 1: 0.2 respectively. The results showed that the thickness of the films varied in the range of 0.0476 mm to 0.0762 mm. An inverse relationship was found between PVA and CA concentration. The tensile strain was significantly different ($p < 0.05$) in the five treatments evaluated; its values varied in the range of 0.765 MPa in the treatment that included 60% beeswax to 6.84 MPa in the control treatment (0% beeswax). Regarding the elongation percentage, the results showed that all treatments were statistically different ($p < 0.05$).

Biodegradable films, water vapour permeability, mechanical properties

† Investigador contribuyendo como primer autor.

*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: bernabe.laureano@uttehuacan.edu.mx

Introducción

El Valle de Tehuacán alberga una gran diversidad de plantas que de acuerdo con Dávila *et al.*, (2002), incluye más de 2600 especies de plantas vasculares. De entre estas, el tempesquistle (*Sideroxylon palmeri* (Rose) T. D. Penn.) es un árbol que puede alcanzar los 25 metros de altura con un tallo recto que produce un látex blanco pegajoso en el tronco, las ramas y los frutos (González-Soberanis y Casas, 2004).

Las películas biodegradables son capas finas de materiales comestibles que aplicados sobre alimentos juegan un papel importante en su conservación, distribución y mercadeo (Fitch-Vargas *et al.*, 2016). Estos materiales actúan como barreras produciendo atmósferas modificadas, reduciendo el intercambio de humedad, controlando el crecimiento microbiano y transfiriendo ingredientes funcionales (antimicrobianos, antioxidantes, colorantes, agentes nutraceúticos) (Treviño-Garza *et al.*, 2015; Salgado, *et al.*, 2015).

Justificación

En los últimos años, el creciente interés por prolongar la vida útil de los productos hortofrutícolas, asegurar su inocuidad, así como preservar el ambiente, ha promovido el desarrollo de recubrimientos formados a partir de componentes biodegradables (Lin y Zhao, 2007; Embuscado y Huber, 2009; Kuorwel, 2011; Zhang *et al.*, 2014). Debido a sus propiedades reológicas y viscoelásticas, el latex de tempesquistle podría representar una buena opción para el desarrollo de películas biodegradables en regiones como el Valle de Tehuacán donde la producción de tempesquistle es alta y relativamente a bajo costo, constituyendo una alternativa de uso y una fuente de recursos para comunidades con bajos niveles de ingresos.

Problema

No obstante la importancia de este recurso fitogenético de gran valor en el Valle de Tehuacán, los estudios al respecto son muy escasos o nulos, particularmente en cuanto a la formulación y caracterización de películas biodegradables.

Por otra parte, al ser el látex de tempesquistle un compuesto hidrocoloide, presenta elevada tasa de transferencia de vapor de agua, lo que resulta poco conveniente para ejercer como matriz estructural en la formación de biopelículas; por lo que es necesaria la adición de un compuesto lipídico (como la cera de abeja) que ayude a mejorar sus características.

Hipótesis

Es posible mejorar las propiedades mecánicas y de barrera en películas biodegradables a base de tempesquistle mediante la adición de cera de abeja.

Objetivos

Objetivo General

El objetivo de esta investigación fue estudiar el efecto de la composición de películas comestibles elaboradas a base de látex de tempesquistle, cera de abeja, emulsificante y plastificante sobre sus propiedades mecánicas (esfuerzo de tensión, porcentaje de elongación y módulo elástico) y permeabilidad a vapor de agua para valorar su funcionalidad como sistema de conservación de alimentos en atmósfera modificada.

Objetivos específicos

- Extraer, aislar y deshidratar látex de tempesquistle para emplearlo como matriz estructural en la formulación de películas biodegradables.

- Elaborar películas biodegradables a base de látex de tempequistle, cera de abeja y aditivos.
- Caracterizar las propiedades mecánicas y permeabilidad a vapor de agua de las películas biodegradables

Marco Teórico

El empleo de películas y recubrimientos comestibles para extender la vida útil de los alimentos no son un concepto nuevo; sin embargo, en años recientes, el creciente interés de productores y consumidores por productos saludables, así como por preservar el medio ambiente, ha impulsado el desarrollo de recubrimientos y películas formados a partir de componentes naturales, comestibles y biodegradables.

Las películas y recubrimientos comestibles son aplicados en muchos alimentos para controlar la transferencia de humedad y migración de solutos, intercambio de gases o procesos de oxidación (Rojas-Graü *et al.*, 2009; Pascall y Lin, 2013). La eficiencia y propiedades funcionales de las películas biodegradables dependen en gran medida de las características inherentes de los materiales formadores de películas (Lacroix y Le Tien, 2005; Liu, 2005; Han *et al.*, 2006).

Las películas comestibles tienen alto potencial para transportar ingredientes activos tales como agentes antioxidantes, colorantes, aromáticos, elementos nutritivos, especies y compuestos antimicrobianos que pueden extender la vida útil del producto y reducir el riesgo de crecimiento de patógenos en la superficie del alimento (Pranoto *et al.*, 2005; Murillo-Martínez *et al.*, 2013).

Una de las funciones de las películas comestibles es actuar como una barrera que separe y proteja al producto de su exposición al ambiente.

La capacidad de una película para actuar como barrera está influenciada por las propiedades químicas del material utilizado en su preparación; sin embargo, las condiciones ambientales tales como temperatura, humedad relativa y el estrés de la manipulación del producto por los consumidores pueden influir en el rendimiento de las propiedades de barrera de la película comestible (Pascall y Lin, 2013; Salgado *et al.*, 2015).

Metodología de Investigación

El material biológico (frutos de tempequistle) empleado como matriz estructural para la formulación de películas comestibles, fue cultivado bajo las mismas condiciones agroclimáticas y de manejo agronómico en un huerto familiar ubicado en el municipio de Ajalpan, Puebla; perteneciente a la región del valle de Tehuacán – Cuicatlán (18° 22' 42" LN, 97° 15' 34" LO y 1,223 m de altitud media sobre el nivel del mar).

Los frutos fueron cosechados en madurez fisiológica; se seleccionaron de manera visual y se eliminaron aquellos que presentaron daños mecánicos, fisiológicos, enfermedades o plagas. Después, se lavaron y desinfectaron mediante ozonización en lotes de 1 kg, aplicando a cada lote dos ciclos de ozonización (3 minutos/ciclo) y haciendo cambio de agua en cada ciclo. Posteriormente se escurrieron y se dejaron secar al ambiente para la extracción y deshidratación del látex.

Las pruebas realizadas en el presente estudio se realizaron en el laboratorio de fisicoquímica del Programa Educativo en Procesos Alimentarios, en la Universidad Tecnológica de Tehuacán, ubicada en las coordenadas 18° 24' 54" LN, 97° 20' 36" LO y 1,896 m de altitud media sobre el nivel del mar.

Preparación de las películas preformadas en placa

Para las formulaciones se empleó como matriz hidrocoloide látex extraído, purificado y deshidratado de tempesquistle (LT) y cera de abeja (CA) como componente hidrofóbico; además, glicerol (G) como agente plastificante y polisorbato 80 (P) como emulsificante.

Para la preparación de las películas biodegradables se elaboró inicialmente una dispersión de látex de tempesquistle en agua desionizada 5 g/100 g (m/m). El procedimiento de preparación comprendió dos etapas: (1) dispersión del látex en agua caliente a temperatura de 60 ± 2 °C con agitación continua durante aproximadamente 30 min, y (2) hidratación de la solución a 25 ± 2 °C durante 24 h con agitación constante.

Posteriormente, se añadió el resto de ingredientes de la formulación, que incluyeron la cera de abeja, el plastificante, el agente emulsificante (polisorbato 80) y agua desionizada en las cantidades correspondientes a cada formulación, como se indica en el Cuadro 1.

La mezcla con estos ingredientes se calentó a 70 ± 2 °C para lograr la fusión del componente hidrofóbico y después de 15 minutos, se homogeneizó con un equipo Ultra-Turrax® (Mod. T 50 digital; IKA®-Werke, Staufen, Alemania) durante un minuto a 5 000 rpm más tres min a 10 000 rpm. Tras la homogeneización, cada emulsión preparada se enfrió por debajo de 30 °C.

Las emulsiones así preparadas, se almacenaron a 7 °C durante un periodo de tiempo no superior a 12 h para su posterior vaciado en placa. Se formularon por balance de masa, cinco soluciones con distinto contenido en CA (0%, 15%, 30%, 45% y 60 % en base seca); las proporciones LT:G y CA:P se mantuvieron constantes en todas las formulaciones siendo 1:0.5 y 1:0.2.

Formulación*	LT	CA	G	P
0 % CA	66.7	0	33.3	0
15 % CA	54.7	15	27.3	3
30 % CA	42.7	30	21.3	6
45 % CA	30.7	45	15.3	9
60 % CA	18.7	60	9.3	12

LT = látex de tempesquistle; CA = cera de abeja; G = glicerol; P = polisorbato 80.

*El nombre de la formulación representa el contenido de cera de abeja (g/100 g, base seca).

Tabla 1 Composición de las emulsiones formadoras de película comestible (g/100 g, base seca).

Para la elaboración de las películas preformadas se prepararon cinco réplicas de cada formulación. Las emulsiones se desgasificaron y vertieron en cajas petri. La cantidad de cada emulsión vertida en cada caja fue constante (30 g) a fin de obtener películas de espesor similar con las distintas formulaciones. Las cajas que contenían la emulsión se colocaron en una superficie horizontal nivelada durante aproximadamente dos días a temperatura y humedad relativa del ambiente. Después del secado, las películas formadas se separaron de su correspondiente caja petri.

Espesor

Se midió el espesor de la película preformada en cinco zonas diferentes de cada película con ayuda de un micrómetro digital (modelo Quickmike series 293-IP-54; Mitutoyo Corp., Kanagawa, Japón) con una resolución de 0.001 mm. Cada película fue puesta dentro de los sujetadores del micrómetro y posteriormente se ajustó con el tambor del mismo micrómetro para realizar la determinación. El espesor de cada película se calculó como la media aritmética de las cinco mediciones realizadas aleatoriamente en diferentes secciones de la película.

Permeabilidad a vapor de agua (PVA)

La PVA se evaluó de acuerdo con el método gravimétrico ASTM E96, con las modificaciones hechas por McHugh *et al.*, (1993) para películas hidrofílicas. La permeabilidad se midió utilizando un gradiente de humedad de 0 – 100 % humedad relativa a 25 °C. Para la realización se utilizaron celdas circulares de metacrilato. En su interior se colocaron 35 ml de agua destilada y posteriormente se fijaron las películas a evaluar entre la superficie y la tapa de la celda dejando siempre un espacio de aire por debajo de la película. Después de haber colocado las películas en las celdas, se introdujeron en desecadores con tapa de vidrio esmerilado que contenía sílica gel (Merck, Darmstadt, Alemania) para generar una humedad del 0 % en su interior (Osés *et al.*, 2009). La tasa de transferencia de vapor de agua (TTVA) se calculó como el cociente entre el valor de la pendiente de la curva de pérdida de agua vs. Tiempo y el área de la película expuesta de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$TTVA = \frac{\Delta m}{A \cdot \Delta t} \quad (1)$$

La TTVA se calcula en condiciones conocidas de espesor de la película, temperatura y gradiente de presión.

Si este valor de TTVA lo dividimos entre las presiones parciales de vapor de agua de las dos caras de la película ensayada, obtenemos la permeación.

$$Permeación = \frac{TTVA}{P_{A1}^{\circ} - P_{A2}^{\circ}} \quad (2)$$

P_{A2}° es la presión parcial de vapor de agua por encima de la película. Por debajo de la película la norma asume que $P_{A1}^{\circ} = P_{A0}^{\circ}$ (presión de vapor saturado) para películas con muy baja permeabilidad. Sin embargo, McHugh *et al.*, (1993) encontraron que esta igualdad no es correcta para películas hidrofílicas que impiden que se alcance el equilibrio de humedad. Por tanto, para conocer P_{A1}° debemos conocer la humedad relativa exacta debajo de la película y para ello, usamos la corrección propuesta por estos mismos autores:

$$P_{A1}^{\circ} = (P - P_{A0}^{\circ}) e^{\frac{TTVA \cdot R \cdot T \cdot Z}{P \cdot D}} \quad (3)$$

Dónde:

P_{A1}° = Presión en la superficie interior de la película (Pa)

P = Presión atmosférica (Pa)

P_{A0}° = Presión en la superficie del agua o presión de vapor saturado (Pa)

$$P_{A0}^{\circ} = 4.84T^2 - 52.24T + 1449.63 \quad (T = temperatura [=]^{\circ}C)$$

TTVA = Flujo de agua en la capa de aire ($g \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)

R = Constante universal de los gases ideales = $8.314472 J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$

T = Temperatura (K)

Z = Altura del espacio de aire en la celda de ensayo (m)

D = Difusividad del agua en el aire
 $(m^2 \cdot s^{-1}) = 22.441 \times 10^{-13} T^{2.8696}$ (T en K)

Finalmente, la permeabilidad al vapor de agua (PVA) de cada una de las películas se calcula mediante la relación:

$$PVA = \text{Permeación} \times \text{espesor} \quad (4)$$

Sin embargo, para poder expresar mejor los valores numéricos, se sugiere que la PVA se exprese en las equivalencias de las siguientes unidades:

$$PVA = \text{Permeación} \times \text{espesor} \quad (5)$$

Propiedades mecánicas

Se usó el equipo analizador de textura (TA-XT2I, Stable Micro Systems, Surrey, UK) para medir las propiedades de tensión de las películas de acuerdo con el método estándar D882 descrito por la Sociedad Americana para Pruebas de Materiales (ASTM, 2000). Antes de la prueba, las películas a evaluar se acondicionaron durante 24 h a 20 ± 1 °C y 50 ± 1 % humedad relativa, se cortaron en tiras rectangulares de 80 mm de largo y 25 mm de ancho y se sujetaron a las pinzas de tensión del equipo a 50 mm de separación inicial. Se realizaron ensayos de tensión uniaxial a una velocidad de extensión de $0.8 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ (Osés *et al.*, 2009). A partir de los datos fuerza-distancia se calcularon los correspondientes esfuerzos de tensión, % de elongación y módulo elástico.

Análisis estadístico

Para evaluar el efecto del contenido de cera de abeja en las películas comestibles sobre las propiedades mecánicas y la PVA, se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Se realizaron análisis de varianza (ANDEVA) y pruebas de Tukey para comparación de medias cuando en el análisis de varianza se observó un efecto significativo en el tratamiento ($\alpha=0.05$). En todos los análisis se utilizó el software estadístico SAS 9.0-Cary, N.C., U.S.A.

Resultados

Espesor de las películas

El espesor de las películas que incluyeron componente lipídico varió en el rango de 0.0730 mm (formulación 15 % CA) a 0.0762 mm (formulación 60 % CA); sin embargo, las diferencias registradas fueron no significativas ($P \leq 0.05$). Por otra parte, el tratamiento que no incluyó CA en su composición, registró espesor medio de 0.0476 mm, cantidad que indica que esta película posee 36 % menos espesor en relación al promedio de las otras cuatro formulaciones, tal como se observa en la Figura 1. La comparación de medias de Tukey evidenció diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$) entre este tratamiento frente a los 4 restantes.

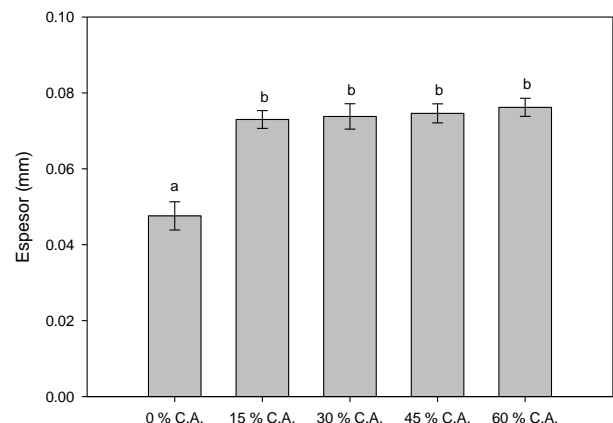


Figura 1 Espesor de las películas con diferente contenido en cera de abeja (0 %, 20 %, 40 % y 60 % en b.s.).

Los valores de espesor medio obtenidos en esta investigación son similares a los reportados por Jouki *et al.*, 2014 quienes registraron valores en el intervalo de 0.063 a 0.079 mm para películas elaboradas a base de mucílago de semilla de membrillo adicionadas con aceite esencial de orégano.

En este mismo orden de ideas, Al-Hassan y Norziah, 2012 registraron valores en el intervalo de 0.05 a 0.07 mm para películas comestibles a base de almidón – gelatina y D. Phan The *et al.*, 2009, 0.04 a 0.06 mm en películas comestibles emulsificadas.

Permeabilidad a vapor de agua (PVA)

La permeabilidad al vapor de agua (PVA) de las películas biodegradables es uno de los parámetros más importantes que definen su funcionalidad. Esta propiedad cuantifica la efectividad de la película para prevenir los intercambios de humedad entre el alimento y el ambiente que le rodea, proceso que afecta la firmeza y apariencia del producto (Sánchez-González *et al.*, 2014; Chen *et al.*, 2014). Los valores de permeabilidad a vapor de agua de las películas biodegradables fueron estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$) en todos los tratamientos evaluados. Como se ilustra en la Figura 2, se encontró relación inversa entre la PVA y la concentración de CA.

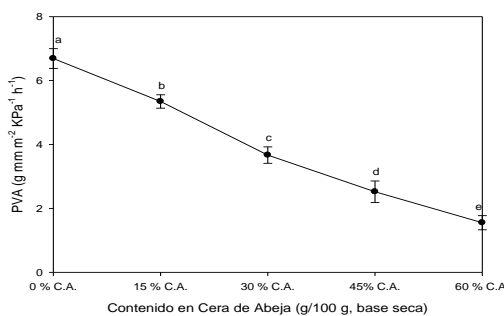


Figura 2 Efecto del contenido de cera de abeja (CA) sobre la permeabilidad a vapor de agua (PVA) de películas comestibles a base de látex de tempesquistle. Las barras representan el error estándar ($P \leq 0.05$). N=3.

Propiedades Mecánicas

El esfuerzo de tensión, porcentaje de elongación y el módulo elástico se encuentran directamente relacionados con la estructura química de las películas biodegradables. El módulo elástico indica la rigidez del material, el esfuerzo de tensión representa la resistencia de la película al alargamiento y el porcentaje de elongación es una medida de la capacidad de las películas para extenderse (Fabra *et al.*, 2010; Khwaldia *et al.*, 2010). La Figura 3 muestra los parámetros de las películas formadas con y sin adición de cera de abeja (control). Puede corroborarse que los valores de esfuerzo de tensión y módulo elástico encontrados en las películas presentan relación inversa a su contenido de cera de abeja ($p < 0.05$); es decir, los valores obtenidos de estas propiedades mecánicas fueron disminuyendo a medida que el contenido de cera de abeja aumentó.

El esfuerzo de tensión resultó ser significativamente diferente ($p < 0.05$) en los cinco tratamientos evaluados; sus valores obtenidos varían en el rango de 0.765 MPa en el tratamiento que incluyó 60 % cera de abeja hasta 6.84 MPa en el tratamiento control (0 % cera de abeja). Diversos estudios reportan que los valores obtenidos de esfuerzo de tensión de las películas pueden ser bastante variables entre sí (Galus y Lenart, 2013; Kanmani y Lim, 2013).

Espitia *et al.*, 2014), principalmente en función del tipo y la concentración del polímero empleado para su elaboración; sin embargo, los valores obtenidos en esta investigación son similares a los reportados por Murillo-Martínez, *et al.*, 2011, quienes formularon emulsiones dobles $W_1/O/W_2$ estabilizadas por complejos de proteína-polisacárido para la elaboración de películas comestibles y determinaron valores de esfuerzo de tensión de 0.93 y 1.49 MPa en películas a base de carboximetilcelulosa – proteína aislada de lactosuero (CMC - WPI) y proteína de bajo metoxilo – proteína aislada de lactosuero (LMP – WPI) respectivamente; pero muy diferentes a los obtenidos por Al-Hassan y Norziah (2012) para películas comestibles a base de almidón de sagú y gelatina de pescado plastificados con 25 % de glicerol o 25 % de sorbitol con valores en el rango desde 1.28 hasta 25.03 MPa.

Respecto al porcentaje de elongación, los resultados evidenciaron que todos los tratamientos fueron estadísticamente ($p < 0.05$) diferentes. Como se muestra en la Figura 3, a diferencia del esfuerzo de tensión y módulo elástico, esta propiedad se comportó en relación directa al contenido de cera de abeja, es decir, a mayor contenido de cera de abeja la capacidad para extenderse de las películas fue también mayor, por lo que, las películas resultaron ser más resistentes pero menos estirables. Los valores registrados durante el experimento variaron en el rango de 5.5 % en el tratamiento que incluyó 0 % cera de abeja hasta 43.65 % en el tratamiento que incluyó 60 % cera de abeja y son comparables a los encontrados en estudios como los reportados por Galus y Lenart (2013) quienes reportan valores de elongación en el rango de 5.9 hasta 14.9 % en películas comestibles compuestas a base de alginato de sodio y pectina.

Este efecto puede ser atribuido a la pobre resistencia mecánica de los lípidos y al desarrollo de una estructura heterogénea de las películas, pues diversos estudios muestran que el efecto del contenido de lípido sobre las propiedades mecánicas de películas compuestas depende de la naturaleza de la matriz polimérica (Hong, *et al.*, 2004; Khwaldia *et al.*, 2010).

Diversos estudios reportan que los valores de esfuerzo de tensión de las películas biodegradables pueden ser bastante variables entre sí (Chiou, *et al.*, 2009; Galus y Lenart, 2013; Kanmani y Lim, 2013; Pérez *et al.*, 2014), principalmente en función del tipo y la concentración del polímero empleado para su elaboración.

Así mismo, las características mecánicas de una película biodegradable pueden ser mejoradas mediante el empleo de mezclas de polímeros; sin embargo, los valores obtenidos en esta experiencia, son similares a los reportados por Soazo *et al.*, (2011) quienes evaluaron el efecto de la temperatura y el contenido de cera de abeja sobre las propiedades físicas de emulsiones de proteína de trigo, y a los reportados por Taqi *et al.*, (2013) quienes evaluaron el esfuerzo de tensión de películas biodegradables a base de complejos almidón – pectina con diferentes concentraciones de aceite esencial de *Laurus nobilis* y ácido oleico.

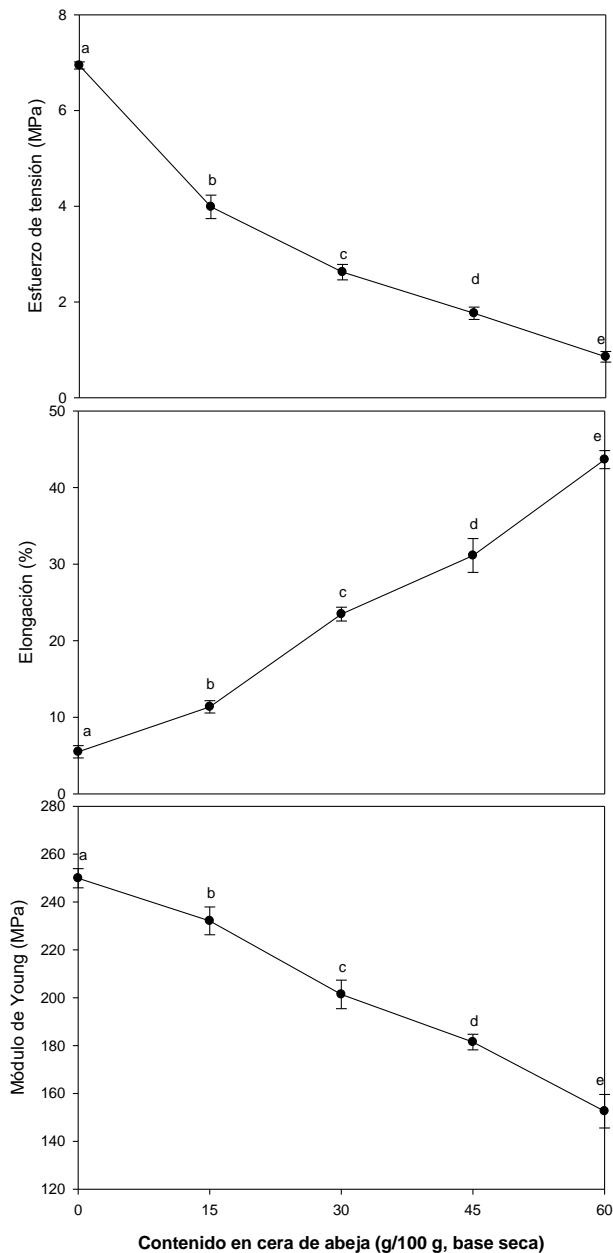


Figura 3 Propiedades mecánicas de películas biodegradables a base de tempequistle y cera de abeja.

Referencias

Al-Hassan, A.A.; Norziah, M.H. (2012). Starch-gelatin edible films: Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizers. *Food Hydrocolloids*. 26: 108 – 117.

ASTM. (2000). D882 Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. West Conshohocken, PA: ASTM International.

Chen, G.; Zhang, B.; Zhao, J.; Chen, H. (2014). Development and characterization of food packaging film from cellulose sulfate. *Food Hydrocolloids*. 35:476 – 483.

Dávila, P., Arizmendi, M.C., Valiente-Banuet, A., Villaseñor, J.L., Casas, A., Lira, R., (2002). Biological diversity in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 11, 421-442.

Embuscado, M.E.; Huber, K.C. (2009). *Edible Films and Coatings for Food Applications*. Springer.

Fabra, M.J.; Talens, P.; Chiralt, A. (2010). Influence of calcium on tensile, optical and water vapour permeability properties of sodium caseinate edible films. *Journal of Food Engineering* 96: 356 – 364.

Falguera, V., Quintero, J.P., Jiménez, A., Muñoz, J.A., Ibarz, A., (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in food science & technology*. 22: 292 – 303.

Fitch-Vargas, P.R.; Aguilar-Palazuelos, E.; Zazueta-Morales, J.D.; Vega-García, M.O.; Valdez-Morales, J.E.; Martínez-Bustos, F.; Jacobo-Valenzuela, N. (2016). Physicochemical and microstructural characterization of corn starch edible films obtained by a combination of extrusión technology and casting technique. *Journal of Food Science* 81(9): E2224 – E2232.

Galus, S.; Lenart, A. (2013). Development and characterization of composite edible films based on sodium alginate and pectin. *Journal of Food Engineering* 115: 459 – 465.

- González-Soberanis, C., Casas, A. (2004). Traditional management and domestication of tempesquistle, *Sideroxylon palmeri* (Sapotaceae) in the Tehuacán – Cuicatlán Valley, Central Mexico. *Journal of Arid Environments* 59: 245 – 258.
- Han, J.H.; Seo, G.H.; Park, I.M.; Kim, G.N.; Lee, D.S. (2006). Physical and mechanical properties of pea starch edible films containing beeswax emulsions. *Journal of food science*. 71(6):290 – 296.
- Hong, S.I.; Han, J.H.; Krochta, J.M. (2004). Optical and surface properties of whey protein isolate coatings on plastic films as influenced by substrate, protein concentration, and plasticizer type. *Journal of Applied Polymer Science*. 92:335 – 343.
- Jouki, M.; Yazdi, F.T.; Mortazavi, S.A.; Koocheki, A. (2014). Quince seed mucilage films incorporated with oregano essential oil: Physical, thermal, barrier, antioxidant and antibacterial properties. *Food Hydrocolloids*. 36: 9 – 19.
- Kanmani, P.; Lim, S.T. (2013). Development and characterization of novel probiotic-residing pullulan/starch edible films. *Food Chemistry*. 141: 1041 – 1049.
- Khwaldia, K.; Arab-Tehrany, E.; Desobry, S. 2010. Biopolymer Coatings on Paper Packaging Materials. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 9:82 – 91.
- Lacroix, M. y Le Tien, C. (2005). Edible films and coatings from non-starch polysaccharides. In: Han JH, editor. *Innovations in food packaging*. Oxford, U.K.: Elsevier Academic Press. pp 338 – 361.
- Liu, Z. (2005). Edible films and coatings from starches. In: Han JH, editor. *Innovations in food packaging*. Oxford, U.K.: Elsevier Academic Press. Pp 318 – 337.
- McHugh, T.H.; Avena-Bustillos, R.; Krochta, J.M. (1993). Hydrophilic Edible Films: Modified Procedure for Water Vapor Permeability and Explanation of Thickness Effects. *Journal of Food Science*. 58(4): 899 – 903.
- McHugh, T.H. (2000). Protein-lipid interactions in edible films and coatings. *Nahrung*, 44: 148 – 151.
- Murillo-Martínez, M.M.; Tello-Solís, S.R.; García-Sánchez, M.A.; Ponce-Alquicira, E. (2013). Antimicrobial activity and hydrophobicity of edible whey protein isolate films formulated with Nisin and/or Glucose Oxidase. *Journal of Food Science*. 78:4
- Newman, M.F. (2008). Flora del Valle de Tehuacán – Cuicatlán. Fascículo 57 Sapotaceae Juss. Instituto de Biología – UNAM.
- Osés, J.; Fabregat-Vázquez, M.; Pedroza-Islas, R., Tomás, S.A.; Cruz-Orea, A.; Maté, J.I. (2009). Development and characterization of composite edible films based on whey protein isolate and mesquite gum. *Journal of Food Engineering*. 92: 56 – 62.
- Pascall, M.A. y Lin S. (2013). The application of edible polymeric films and coatings in the food industry. *Food Processing and Technology*. 4:2.
- Pennington, T.D., (1990). Flora Neotrópica: Sapotaceae. New York Botanical Garden, New York.
- Phan The,D., Debeaufort, F., Voilley, A., & Luu, D. (2009). Influence of hydrocolloid nature on the structure and functional properties of emulsified edible films. *Food Hydrocolloids*, 23, 691-699.
- Pranoto, Y.; Salokhe, V.M.; Rakshit, S.K. (2005). Physical and antibacterial properties of alginate-based edible film incorporated with garlic oil. *Food Research International*. 38: 267 – 272.

Rojas-Graü, M.A., Soliva-Fortuny, R., and Martín-Belloso, O. (2009). Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: a review. *Trends in food science and technology* 20: 438 – 447.

Salgado, P.R.; Ortiz, C.M.; Musso, Y.S.; Di Giorgio, L. y Mauri, A.N. (2015). Edible films and coatings containing bioactives. *Current Opinion in Food Science*, 5: 86 – 92.

Sánchez-González, L.; Quintero, S.J.I.; Chiralt, A. (2014). Antilisterial and physical properties of biopolymer films containing lactic acid bacteria. *Food Control*. 35:200 – 206.

Treviño-Garza, M.Z.; García, S.; Flores-González, M.S.; Arévalo-Niño, K. (2015). Edible active coatings based on pectin, pullulan, and chitosan increase quality and shelf life of strawberries (*Fragaria ananassa*). *Journal of Food Science*. 80(8): 1823 – 1830.