

FILMS BASED ON HAWTHORN (*Crataegus* spp.) FRUIT PECTIN AND CANDELILLA WAX EMULSIONS: CHARACTERIZATION AND APPLICATION ON *Pleurotus ostreatus*

PELÍCULAS BASADAS EN EMULSIONES DE PECTINA DE FRUTOS DE TEJOCOTE (*Crataegus* spp.) Y CERA DE CANDELILLA: CARACTERIZACIÓN Y APLICACIÓN EN *Pleurotus ostreatus*

María A. Lozano-Grande¹, Salvador Valle-Guadarrama^{1*}, Eleazar Aguirre-Mandujano¹, Consuelo S. O. Lobato-Calleros¹, Fabiola Huelitl-Palacios²

¹Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. 56230. México-Texcoco km 38.5, Texcoco de Mora, México. ²Universidad Tecnológica de Huejotzingo. Camino Real San Mateo s/n. 74169. Santa Ana Xalmimilulco, Huejotzingo, Puebla, México. (svalleg@taurus.chapingo.mx).

ABSTRACT

Hawthorn or tejocote (*Crataegus* spp.) is an underutilized species in Mexico, but its fruit possesses a high pectin content, which may be utilized to give it added value. The objectives of this study were to extract pectin (HP) from hawthorn fruit to be used with candelilla wax (CW) in the preparation of emulsions with 1-2 % HP and 0.5-1 % CW, and to evaluate the potential use of such emulsions as coatings of fresh produce to preserve quality attributes in postharvest. Rheological measurements showed that emulsions behaved as typical structural materials and flow properties were well described by the modified Carreau model. Emulsions were cast to obtain edible films. Increments of HP increased tensile strength (0.16 to 0.22 MPa) but reduced its elongation at break (57.2 to 4.4 %), indicating more fragility. Water vapor permeability varied between 9.3×10^{-14} and 1.3×10^{-14} mol m s⁻¹ m⁻² Pa⁻¹ for low (1.0 and 0.5 %) and high (2.0 and 1.0 %) concentrations of HP and CW, respectively. Emulsions and films made with HP were equal to or superior to those made with citrus pectin. Emulsions of HP and CW were applied on *Pleurotus ostreatus* slices, and those that received 2 % HP and 1 % CW had smaller losses of weight, firmness, and lightness, relative to untreated mushroom slices, during 20 d of storage at 4 °C, which indicates good potential for use in postharvest conservation of fresh produce.

Key words: Candelilla wax, edible films, hawthorn pectin, postharvest, shelf life.

RESUMEN

El tejocote (*Crataegus* spp.) es una especie subutilizada en México, pero su fruto posee alto contenido de pectina, lo que se puede usar para dar valor agregado. Los objetivos del estudio fueron extraer pectina (HP) desde frutos de tejocote para utilizar junto con cera de candelilla (CW) en la preparación de emulsiones con 1-2 % HP y 0.5-1 % CW, y evaluar el potencial de uso de tales emulsiones como recubrimiento de productos hortofrutícolas para preservar sus atributos de calidad en postcosecha. La evaluación reológica mostró que las emulsiones se comportan como materiales estructurales típicos y las propiedades de flujo se describieron bien con el modelo de Carreau modificado. De las emulsiones se obtuvieron películas comestibles. El incremento en HP aumentó la resistencia a la tensión (0.16 a 0.22 MPa), pero redujo la capacidad de estiramiento hasta ruptura (57.2 a 4.4 %), indicando más fragilidad. La permeabilidad a vapor de agua varió entre 9.3×10^{-14} y 1.3×10^{-14} mol m s⁻¹ m⁻² Pa⁻¹ para baja (1.0 y 0.5 %) y alta (2.0 and 1.0 %) concentración de HP y CW, respectivamente. Las emulsiones y películas hechas con pectina de tejocote fueron superiores o iguales que aquellas hechas con pectina cítrica. Las emulsiones de HP y CW fueron aplicadas sobre *Pleurotus ostreatus* y aquellas con 2 % HP y 1 % CW redujeron las pérdidas de peso, firmeza y luminosidad, respecto a rebanadas de hongo no tratadas durante un almacenamiento de 20 d a 4 °C, lo cual indica buen potencial para ser usadas en la conservación postcosecha de productos frescos.

Palabras clave: Películas comestibles, cera de candelilla, pectina de tejocote, postcosecha, vida de anaquel.

*Author for correspondence ❖ Autor responsable.

Received: October, 2015. Approved: May, 2016.

Published as ARTICLE in *Agrociencia* 50: 849-866. 2016.

INTRODUCTION

The genus *Crataegus* (Rosaceae: Maloideae; Hummer and Janick, 2009) includes around 280 species that grow in different temperate regions of the Northern Hemisphere in the form of thorny shrubs or small trees with bright green leaves and white flowers (Chang *et al.*, 2002). The fruits are berries that are yellow to red and dark purple when ripe (Chang *et al.*, 2002; Özcan *et al.*, 2005). Hawthorn fruit (*Crataegus* spp.), or tejocote, as it is called in Mexico (Martínez, 1979), is known as a source of good quality pectin (Wang *et al.*, 2007), with potential applications in the food, pharmaceutical, and a number of other industries, derived from its ability to form gels (Thakur *et al.*, 1997). The field of postharvest preservation of horticultural commodities requires the use of materials such as pectin to formulate biopolymeric films for use as coatings to provide protection against mechanical, chemical or microbiological damage and extend shelf life (Falguera *et al.*, 2011). Nowadays, there is greater awareness of environmental conservation and, based on advantages such as edibility, biodegradability, biocompatibility, and barrier properties (Alparslan *et al.*, 2014), edible films constitute an alternative to plastics for establishment of modified atmospheres. A polymer such as pectin can be suitable for active packaging (Pérez-Espitia *et al.*, 2014). In fact, pectin is applied on processed products (Castro-Freitas *et al.*, 2009), although it was used in combination with other raw materials such as maize starch (Fishman *et al.*, 2000), soy flour (Mariniello *et al.*, 2003), and banana flour (Sothornvit and Pitak, 2007).

Pectin for industrial purposes is obtained from apple pomace and citrus peels (Galus and Lenart, 2013; Pérez-Espitia *et al.*, 2014), but other sources such as mango fruit pulp were explored (Azeredo *et al.*, 2009). In this regard, the hawthorn fruit could be a good source of pectin for use in biopolymeric film formulations, with potential to be included in postharvest conservation strategies of fresh produce, but its characterization for that end has not been carried out. Hawthorn is an underutilized species in Mexico (Nieto-Ángel, 2007), but because of its composition and

INTRODUCCIÓN

El género *Crataegus* (Rosaceae: Maloideae; Hummer and Janick, 2009) incluye alrededor de 280 especies que crecen en distintas regiones templadas del Hemisferio Norte, como arbustos espinosos o pequeños árboles con hojas de color verde brillante y flores blancas (Chang *et al.*, 2002). Los frutos son bayas que al madurar adquieren colores de amarillo a rojo y púrpura oscuro (Chang *et al.*, 2002; Özcan *et al.*, 2005). El fruto de tejocote (*Crataegus* spp.), como se le llama en México (Martínez, 1979), es una fuente de pectina de buena calidad (Wang *et al.*, 2007), con aplicaciones potenciales en la industria alimentaria, farmacéutica y en varias industrias, derivado de su capacidad para formar geles (Thakur *et al.*, 1997). El área de la conservación postcosecha de productos hortícolas requiere el uso de materiales como la pectina, para formular películas biopoliméricas que se usen como recubrimientos, para proporcionar protección contra daños mecánicos, químicos o microbiológicos y extender la vida útil (Falguera *et al.*, 2011). Ahora hay mayor conciencia sobre la conservación del medio ambiente y, con base en ventajas como comestibilidad, biodegradabilidad, biocompatibilidad y el desarrollo de propiedades de barrera (Alparslan *et al.*, 2014), las películas comestibles son una alternativa a los plásticos durante el desarrollo de atmósferas modificadas, donde un polímero como la pectina puede ser adecuado para actuar como un envase activo (Pérez-Espitia *et al.*, 2014). De hecho, la pectina se aplica sobre productos procesados (Castro-Freitas *et al.*, 2009), aunque se usa en mezcla con otras materias primas como almidón de maíz (Fishman *et al.*, 2000), harina de soya (Mariniello *et al.*, 2003) y harina de plátano (Sothornvit y Pitak, 2007).

La pectina para fines industriales se obtiene de pulpa de manzana y cáscara de cítricos (Galus y Lenart, 2013; Pérez-Espitia *et al.*, 2014), pero también se exploran otras fuentes como la pulpa de frutos de mango (Azeredo *et al.*, 2009). En este sentido, el fruto de tejocote podría ser una buena fuente de pectina para utilizar en formulaciones de películas biopoliméricas con potencial para ser incluidas en estrategias de conservación de productos hortofrutícolas en postcosecha, pero esa caracterización aún no se realiza. El tejocote es una especie subutilizada en México

antioxidant potential, the fruit could be more highly valued (García-Mateos *et al.*, 2012; 2013). Thus, extraction and use of pectin could be an alternative strategy for adding value to this plant genetic resource.

Pectin is highly hydrophilic because it is composed of at least 17 kinds of monosaccharides, of which D-galacturonic acid is the most abundant, followed by D-galactose or L-arabinose, all covalently interconnected to one another (Yapo, 2009). For this reason, the inclusion of a lipid compound may be required during formulation of biopolymeric coatings in order to regulate the hydrophilic-lipophilic balance. For our study, candelilla wax, a natural product obtained from the plant *Euphorbia antisyphilitica*, was selected to be used in biopolymeric film formulations with hawthorn pectin, because it is recognized as safe (GRAS) (FDA, 2003) and its films have been shown to be good barriers to water vapor (Chick and Hernandez, 2002). Thus, the objectives of this study were to: 1) formulate and evaluate candelilla wax in hawthorn pectin emulsions; 2) obtain edible films by casting the emulsions and evaluating their functional properties; and 3) evaluate the potential application of candelilla wax in hawthorn pectin emulsions in the postharvest conservation of fresh produce. In order to attend the last objective, the oyster mushroom *Pleurotus ostreatus* was selected as experimental material because it has high economic importance (Gregori *et al.*, 2007), but its shelf life is short due to high respiration and transpiration rates (Villaescusa and Gil, 2003).

MATERIALS AND METHODS

Materials

Hawthorn fruit came from accession 55 of the gene bank of Universidad Autónoma Chapingo, Mexico (19° 29' 3" N, 98° 53' 37" W, 2250 masl). Candelilla wax (CW) was provided by Cedrosa S. A. de C. V., Mexico. Other used materials were citrus pectin (CP; methoxyl content 72.9 %; Laitz® S. A. de C. V.; Mexico), carboxymethyl cellulose (CMC; 700 000 g mol⁻¹; Meyer® S. A. de C. V., Mexico), sorbitan monostearate (S60; Laitz® S. A. de C. V., Mexico), glycerol (as a plasticizer), and ethanol (96 %; Meyer® S. A. de C. V., Mexico).

(Nieto-Ángel, 2007), pero con base a su composición y potencial antioxidante, el fruto podría ser mejor valorado (García-Mateos *et al.*, 2012; 2013). Así, la extracción y uso de la pectina podría ser una estrategia alternativa para dar valor agregado a este recurso fitogenético.

La pectina es altamente hidrofílica porque se compone de al menos 17 tipos de monosacáridos, entre los cuales el ácido D-galacturónico es el más abundante, seguido por la D-galactosa o la L-arabinosa, unidos entre sí en forma covalente (Yapo, 2009). Debido a esto, la inclusión de un compuesto lipídico puede ser necesaria durante la formulación de recubrimientos poliméricos para regular el balance hidrofílico-lipofílico. Para nuestro estudio se seleccionó la cera de candelilla, un producto natural obtenido de la planta *Euphorbia antisyphilitica*, para usarse junto con la pectina y formular películas biopoliméricas, porque está reconocida como segura (GRAS) (FDA, 2003) y se ha mostrado que forma películas con buena barrera a vapor de agua (Chick and Hernandez, 2002). Por tanto, los objetivos de este estudio fueron: 1) formular y evaluar emulsiones de cera de candelilla en pectina de tejocote; 2) obtener películas comestibles a partir de las emulsiones y evaluar sus propiedades funcionales y; 3) evaluar el potencial de uso de las emulsiones de cera de candelilla en pectina de tejocote en la conservación postcosecha de productos hortofrutícolas frescos. Con el fin de atender el último objetivo, se seleccionó al hongo *Pleurotus ostreatus* como material experimental, porque tiene alta importancia económica (Gregori *et al.*, 2007), pero su vida de anaquel es corta debido a velocidades altas de respiración y transpiración (Villaescusa y Gil, 2003).

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Los frutos de tejocote provinieron de la accesión 55 del banco de germoplasma de la Universidad Autónoma Chapingo, México. La cera de candelilla (CW) fue provista por Cedrosa S. A. de C. V., México. Otros materiales usados fueron pectina cítrica (CP; 72.9 % de grado de metoxilación; Laitz® S. A. de C. V., México), carboximetilcelulosa (CMC; 700,000 g mol⁻¹; Meyer® S. A. de C. V., México), monoestearato de sorbitan (S60; Laitz® S. A. de C. V., México), glicerol (como plastificante) y etanol (96 %; Meyer® S. A. de C. V., México).

Pectin extraction

Hawthorn pectin (HP) was extracted following the method of Yapo *et al.* (2007). Fruit pulp was mixed with 0.1 N HCl (1000 mL per 100 g of flesh), heated to 85 °C for 45 min, and filtered through muslin cloth. The filtrate was mixed (1:1) with ethanol (96 % v/v), left to stand at 4 °C for 24 h; after this time the supernatant was decanted. This procedure was repeated three times. The combined precipitates were washed three times with a mixture of ethanol:water (70:30, v/v). Subsequently, the mixture was centrifuged (Sorvall RC-5B centrifuge; Du Pont Instruments, MN, USA) and pectin was purified in distilled water with dialysis membrane (Spectra/Por 6 Dialysis Membrane, 12 kDa; Spectrum Laboratories Inc., CA, USA). Finally, the polysaccharide was dried in an oven (Memmert, Wisconsin Oven Distributions, LLC, WI, USA) at 30±2 °C for 24 h. Pectin yield was calculated on a dry basis (Y_p , %) with equation (1), where m_p and m_f are mass (g) of pectin obtained and original amount of hawthorn pulp used, respectively:

$$Y_p = \left(\frac{m_p}{m_f} \right) \times 100 \quad (1)$$

The esterification degree (ED , %) was evaluated with the method of Singthong *et al.* (2004), with 500 mg dry pectin mixed with 2 mL ethanol and 100 mL distilled water. After titration with 0.5 N NaOH (V_A , mL), 10 mL of 0.5 N NaOH were added while shaking and subsequently left in repose for 15 min. The mixture was added to 10 mL of 0.5 N HCl and again titrated with 0.5 N NaOH (V_B , mL). ED (%) was calculated with equation (2):

$$ED = \left(\frac{V_B}{V_A + V_B} \right) \times 100 \quad (2)$$

Emulsion preparation

Four oil-in-water (O/W) emulsions with different compositions were made. The disperse and continuous phases were prepared separately. The disperse phase comprised CW (0.5 or 1.0 g)+S60 (0.5 or 1.0 g)+glycerol (1.26 g) per 100 g emulsion. The continuous phase had HP or CP (1.0 or 2.0 g)+CMC (0.5 g)+the requisite amount of water to complete 100 g of emulsion. Both disperse and continuous phases were heated to 75±2 °C and mixed separately with an Ultra Turrax T50 homogenizer (IKA Labor Technik, Staufen, Germany). The disperse phase was then added drop by drop to the continuous phase with constant shaking using the

Extracción de pectina

La pectina de tejocote (HP) fue extraída con el método de Yapo *et al.* (2007). La pulpa de los frutos fue mezclada con HCl 0.1 N (1000 mL por 100 g de pulpa), calentada a 85 °C por 45 min y filtrada a través de tela de muselina. El filtrado se mezcló (1:1) con etanol (96 % v/v), se dejó reposar a 4 °C por 24 h y se decantó el sobrenadante. Este procedimiento se repitió tres veces. Los precipitados se combinaron y se lavaron tres veces con una mezcla de etanol:agua (70:30, v/v). Después se aplicó centrifugación (equipo Sorvall RC-5B; Du Pont Instruments, MN, USA) y la pectina se purificó en agua destilada con membrana de diálisis (Spectra/Por 6 Dialysis Membrane, 12 kDa; Spectrum Laboratories Inc., CA, USA). Finalmente, el polisacárido se secó en un horno (Memmert, Wisconsin Oven Distributions, LLC, WI, USA) durante 24 h a 30±2 °C. El rendimiento de pectina fue calculado en base seca (Y_p , %) con la ecuación (1), donde m_p y m_f son masas (g) de la pectina obtenida y la cantidad original de pulpa de tejocote usada, respectivamente:

$$Y_p = \left(\frac{m_p}{m_f} \right) \times 100 \quad (1)$$

El grado de esterificación (ED , %) fue evaluado con el método de Singthong *et al.* (2004), con 500 mg de pectina seca mezclada con 2 mL de etanol y 100 mL de agua destilada. Se aplicó titulación con NaOH 0.5 N (V_A , mL). Después, 10 mL de NaOH 0.5 N fueron agregados con agitación y reposo por 15 min. La mezcla fue incorporada con 10 mL de HCl 0.5 N y se tituló de nuevo con NaOH 0.5 N (V_B , mL). ED (%) se calculó con la ecuación (2):

$$ED = \left(\frac{V_B}{V_A + V_B} \right) \times 100 \quad (2)$$

Preparación de emulsiones

Cuatro emulsiones aceite en agua (O/W) se prepararon con diferente composición. Las fases dispersa y continua se prepararon por separado. La fase dispersa se hizo con CW (0.5 ó 1.0 g)+S60 (0.5 ó 1.0 g)+glicerol (1.26 g) por 100 g de emulsión. La fase continua se preparó con HP o CP (1.0 ó 2.0 g)+CMC (0.5 g)+la cantidad requerida de agua para obtener 100 g de emulsión. Ambas fases, dispersa y continua, fueron calentadas a 75±2 °C y mezcladas por separado con un homogeneizador Ultra Turrax T50 (IKA Labor Technik, Staufen, Germany). La fase dispersa se agregó gota a gota a la fase continua con agitación constante, usando el mismo

same homogenizer at 10 000 rpm for 10 min, maintaining the temperature at 75 °C. The emulsions were coded as $E_{0.5CW,1HP}$ and $E_{0.5CW,1CP}$, having a disperse phase mass fraction (ϕ) of 0.0226, and $E_{1CW,2HP}$ and $E_{1CW,2CP}$, having a $\phi=0.0326$.

Emulsion characterization

The mean volume-surface diameter ($d_{3,2}$) of the wax droplets in emulsions was measured with a particle size analyzer (Malvern Instruments, Ltd., UK), using samples of 1 mL diluted in distilled water until an obscuration index of 16 % was registered in the equipment. In addition, rheological behavior was evaluated with a Physica MCR 301 rheometer (Anton Paar®, Messtechnik, Germany) to determine the flow properties of emulsions, with cone-plate geometry, in which the rotating cone had a diameter of 50 mm and an angle of 1°. Steady shear measurements were performed at 20 °C by applying shear rates of 0.001 to 1000 s⁻¹ and apparent viscosity was recorded as a function of shear rate.

Film preparation

Aliquots of 6 mL from each emulsion were poured into 9 cm diameter glass Petri dishes and dried in an oven (Memmert, Wisconsin Oven Distributions, LLC, WI, USA) at 30±2 °C for 24 h. Films were obtained and coded as a function of emulsions: $F_{0.5CW,1HP}$, $F_{0.5CW,1CP}$, $F_{1CW,2HP}$, and $F_{1CW,2CP}$.

Film evaluation

Film thickness (δ , μm) was obtained as the mean of five measurements with a micrometer (Starret Company, USA) at different points of each film. Transparency (T_r) was evaluated with equation (3), using the method of Chana-Thaworn *et al.* (2011). Rectangular pieces measuring 0.5 cm×4.0 cm were placed in spectrophotometer cells (CS-200PC®, Spectronics Instruments Inc., USA), perpendicular to the light path to evaluate transmittance (T_{550}) at 550 nm.

$$T_r = \log_{10}(T_{550} / \delta) \quad (3)$$

Water vapor permeability (WVP) was measured with the method of McHugh *et al.* (1993) with 125 mL glass containers, 4.5 cm in diameter and 7.5 cm deep. A volume of 35 mL of a saturated KNO₃ aqueous solution (Meyer® S. A. de C. V., Mexico) was placed inside each container to generate a constant relative humidity (Rh) of 97 %. Each vessel was covered with the film to be evaluated and the assembly was placed in the headspace of a sealed chamber containing a saturated solution of anhydrous K₂CO₃ (Meyer® S. A. de C. V., Mexico) at 24±2 °C

homogeneizador a 10 000 rpm por 10 min, manteniendo la temperatura a 75 °C. Las emulsiones fueron codificadas como $E_{0.5CW,1HP}$ y $E_{0.5CW,1CP}$, teniendo una fracción másica de fase dispersa (ϕ) de 0.0226, y como $E_{1CW,2HP}$ y $E_{1CW,2CP}$, teniendo una ϕ de 0.0326.

Caracterización de emulsiones

El diámetro promedio volumen a superficie ($d_{3,2}$) de las gotas de grasa en las emulsiones se midió con un analizador de tamaño de partícula (Malvern Instruments, Ltd., UK), usando muestras de 1 mL diluidas en agua destilada hasta obtener un índice de oscurecimiento de 16 % en el equipo. Además, se evaluaron las propiedades de flujo de las emulsiones con un reómetro Physica MCR 301 (Anton Paar®, Messtechnik, Germany), usando geometría cono-plato, donde el cono rotatorio tenía diámetro de 50 mm y ángulo de 1°. Pruebas de cizallamiento constante se realizaron a 20 °C aplicando tasas de corte de 0.001 a 1000 s⁻¹ y se registró en cada nivel la viscosidad aparente.

Preparación de películas

Alícuotas de 6 mL de cada emulsión se vaciaron en cajas Petri de vidrio de 9 cm de diámetro y se secaron en un horno (Memmert, Wisconsin Oven Distributions, LLC, WI, USA) a 30±2 °C por 24 h. Así, se obtuvieron películas que fueron codificadas en función de las emulsiones como $F_{0.5CW,1HP}$, $F_{0.5CW,1CP}$, $F_{1CW,2HP}$ y $F_{1CW,2CP}$.

Evaluación de películas

El espesor de las películas (δ , μm) se obtuvo como la media de cinco determinaciones con un micrómetro (Starret Company, USA) en diferentes puntos de cada película. La transparencia (T_r) se evaluó con la ecuación (3) y el método de Chana-Thaworn *et al.* (2011). Piezas rectangulares de 0.5 cm×4.0 cm fueron colocadas en celdas de un espectrofotómetro (CS-200PC®, Spectronics Instruments Inc., USA), perpendicular al paso de luz para evaluar transmitancia (T_{550}) at 550 nm.

$$T_r = \log_{10}(T_{550} / \delta) \quad (3)$$

La permeabilidad a vapor de agua (WVP) se evaluó con el método de McHugh *et al.* (1993), con contenedores de vidrio de 125 mL, 4.5 cm en diámetro y 7.5 cm de profundidad. En cada recipiente se colocó un volumen de 35 mL de una solución acuosa de KNO₃ (Meyer® S. A. de C. V., México) para generar una humedad relativa (Rh) constante de 97 %. Cada recipiente

to develop an internal environment with 54 % Rh. Water vapor flow (r_v ; mol s⁻¹) through the film was calculated by recording the weight loss of the KNO₃ solution over a 24-h period. Partial vapor pressures (Pa) were evaluated inside (p_v^i) and outside (p_v^o) of cells with equation (4), where p_v^* is saturation vapor pressure (Pa) that was determined from a steam table.

$$p_v = Rb p_v^* \quad (4)$$

In addition, partial vapor pressures were corrected considering the gas diffusion through the static air layer on both sides of the film (Gennadios *et al.*, 1994). The WVP (mol m s⁻¹ m⁻² Pa⁻¹) was calculated with equation (5), where A is area of water vapor transmission (m²).

$$WVP = \frac{r_v \delta}{A(p_v^i - p_v^o)} \quad (5)$$

Tensile strength (τ) was evaluated on 8 cm × 3 cm rectangular pieces with a texture analyzer (TA-TX2i, Stable Micro Systems, UK). Samples were stretched to rupture point at 2 mm s⁻¹. The resulting force was divided by film thickness and τ was expressed in MPa. In addition, elongation at break (EB) was calculated in percentage with equation (6), where L_i and L_f were initial and final lengths (mm) of films (Navarro-Tarazaga *et al.*, 2011).

$$EB = \left(\frac{L_f - L_i}{L_i} \right) \times 100 \quad (6)$$

Film application

The mushroom *P. ostreatus* was used to assess the potential use of edible films of hawthorn pectin and candelilla wax in the postharvest conservation of horticultural products. The mushroom was harvested at Nopaltepec, Mexico (19° 44' 43" N, 98° 38' 26" W; 2450 masl). After harvest, it was quickly cooled to 4 °C, cut into 3 cm × 5 cm pieces and immersed in a 200 ppm NaClO solution, followed by immersion in a solution of sodium erythorbate (1.0 g 100 mL⁻¹) and citric acid (0.5 g 100 mL⁻¹) for 3 min to delay oxidation (Ventura-Aguilar *et al.*, 2011). Emulsions E_{0.5CW,1HP} and E_{1CW,2HP} were sprayed on the surface of mushroom slices as treatments E₁ and E₂, respectively. The coated mushroom slices were exposed to a current of air for 30 min, and batches of 150 g of the product from each treatment was put into each of 30 clamshells. Two controls were established: C₂ included mushroom slices treated only with NaClO and the antioxidant solution and those of C₁ were treated only with the NaClO solution. All batches were placed at 4 °C and 85 % Rh. Every other day, three clamshells from each treatment were

fue cubierto con la película a ser evaluada y el conjunto se colocó en el espacio de cabeza de una cámara sellada que contenía una solución de K₂CO₃ anhidro (Meyer® S. A. de C. V., México) a 24 ± 2 °C para desarrollar un ambiente interno con 54 % Rh. El flujo de vapor de agua (r_v ; mol s⁻¹) a través de la película se calculó registrando la pérdida de peso de la solución de KNO₃ en un periodo de 24 h. Las presiones parciales de vapor (Pa) fueron evaluadas dentro (p_v^i) y fuera (p_v^o) de las celdas con la ecuación (4), donde p_v^* es presión de vapor de saturación (Pa), que fue determinada de una tabla de vapor.

$$p_v = Rb p_v^* \quad (4)$$

Además, las presiones parciales de vapor fueron corregidas considerando la difusión gaseosa a través de la capa de aire estática en ambos lados de la película (Gennadios *et al.*, 1994). La WVP (mol m s⁻¹ m⁻² Pa⁻¹) se calculó con la ecuación (5), donde A es área de transmisión de vapor de agua (m²).

$$WVP = \frac{r_v \delta}{A(p_v^i - p_v^o)} \quad (5)$$

La resistencia a la tensión (τ) se evaluó en piezas rectangulares de 8 cm × 3 cm con un analizador de textura (TA-TX2i, Stable Micro Systems, UK). Las muestras fueron estiradas hasta la ruptura a 2 mm s⁻¹. La fuerza resultante fue dividida por la sección transversal de la película y τ expresada en MPa. Además, la capacidad de estiramiento hasta ruptura (EB) se calculó, en porcentaje, con la ecuación (6), donde L_i y L_f fueron longitudes (mm) inicial y final de las películas (Navarro-Tarazaga *et al.*, 2011).

$$EB = \left(\frac{L_f - L_i}{L_i} \right) \times 100 \quad (6)$$

Aplicación de películas

El hongo *P. ostreatus* fue usado para evaluar el potencial de uso de las películas comestibles de pectina de tejocote y cera de candelilla en la conservación de productos hortofrutícolas en postcosecha. El hongo fue cosechado en Nopaltepec, México (19° 44' 43" N, 98° 38' 26" O; 2450 msnm). Después de la cosecha, se aplicó enfriamiento rápidamente hasta 4 °C. El material se cortó en trozos de 3 cm × 5 cm, se sumergió en una solución de 200 ppm de NaClO, seguido de inmersión en una solución de eritorbato de sodio (1.0 g 100 mL⁻¹) y ácido cítrico (0.5 g 100 mL⁻¹) por 3 min, para retardar oxidación (Ventura-Aguilar *et al.*, 2011). Las emulsiones E_{0.5CW,1HP} y E_{1CW,2HP} fueron asperjadas sobre la superficie de rodajas de

assessed in terms of weight loss, firmness, and color. Weight loss was evaluated with a digital scale (Ohaus, USA) relative to weight at the beginning of storage. A texture analyzer (TA-TX2i, Stable Micro Systems, UK) was used to measure firmness with a spherical probe of 5.0 mm in diameter and a routine where the mushroom was deformed up to 4 mm at a velocity of 4 mm s⁻¹. Color was expressed as hue angle, chroma, and lightness and assessed with a Hunter Lab colorimeter (Mini Scan XE Plus 45/0-L, USA).

Data analysis

The study organization during the phase of emulsion and film evaluation was with a completely randomized design and the experimental unit was of one emulsion or one film. We expected that an increment in the concentration of emulsion constituents would affect rheological and mechanical properties and that water vapor barrier results would improve. The phase of film application considered one clamshell with 150 g of product as the experimental unit, and type of treatment (C₁, C₂, E₁, and E₂) and storage time were variation factors. It was expected that at least one of the emulsions would have a beneficial effect in prolonging shelf life. All measurements were carried out in triplicate and data was used for ANOVA and means were compared with Tukey test ($p \leq 0.05$).

RESULTS AND DISCUSSION

Hawthorn pectin yield and esterification degree

Purified hawthorn pectin yield (Y_p) was 4.3 ± 0.3 %. Values vary between 7 and 15 % in cases without a purification treatment (Methacanon *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2007). This confirms the report of Yapo (2009), who stated that pectin yield depends on the desired purity. Esterification degree was 76.9 ± 0.1 %, which corresponded to high methoxyl.

Emulsion flow properties

Apparent viscosity (η), as a function of emulsion shear rate ($\dot{\gamma}$), showed a profile with a Newtonian viscosity plateau (η_0) at low $\dot{\gamma}$ values, followed by a shear thinning region behavior at medium and high $\dot{\gamma}$ values (Figure 1). The η - $\dot{\gamma}$ experimental data fitted ($R^2 > 0.90$ in all cases; Table 1) the modified Carreau model well (equation 7; Advani and Sozer, 2010), where n (dimensionless) is the shear thinning

hongo para formar los tratamientos E₁ and E₂, respectivamente. Las rodajas de hongo recubiertas fueron expuestas a una corriente de aire durante 30 min y 150 g del producto de cada tratamiento fueron puestos en cada uno de 30 clamshell. Dos controles se establecieron: C₂, el producto tratado sólo con NaClO y la solución antioxidante y; C₁ se trató sólo con la solución de NaClO. Todos los lotes fueron colocados a 4 °C y 85 % *Rh*. Cada tercer día en tres clamshells de cada tratamiento se evaluaron pérdida de peso, firmeza y color. La pérdida de peso se evaluó con una balanza digital (Ohaus, USA) respecto al peso del inicio del almacenamiento. La firmeza se midió con un analizador de textura (TA-TX2i, Stable Micro Systems, UK) con una sonda esférica de 5.0 mm de diámetro, y una rutina donde el hongo fue deformado hasta 4 mm a velocidad de 4 mm s⁻¹. El color se evaluó con un colorímetro Hunter Lab (Mini Scan XE Plus 45/0-L, USA) y se expresó como ángulo de matiz, cromaticidad y luminosidad.

Análisis de datos

La organización del estudio durante la fase de evaluación de emulsiones y películas fue con un diseño completamente al azar y la unidad experimental fue una emulsión o una película. Se esperaba que un aumento en la concentración de los constituyentes de las emulsiones afectara la reología y las propiedades mecánicas y se mejoraran las propiedades de barrera. La fase de aplicación de películas consideró un clamshell con 150 g de producto como unidad experimental y tuvo el tipo de tratamiento (C₁, C₂, E₁ y E₂) y el tiempo de almacenamiento como factores de variación. Se esperaba que al menos una de las emulsiones causara un efecto benéfico en el alargamiento de la vida de anaquel. Todas las mediciones se realizaron por triplicado y con los datos se realizó un ANDEVA y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de pectina de tejocote y grado de esterificación

El rendimiento de pectina de tejocote purificada (Y_p) fue $4.3 (\pm 0.3)$ %. Los valores varían de 7 a 15 % en casos sin tratamiento de purificación (Methacanon *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2007). Esto confirma el reporte de Yapo (2009), quien afirma que la producción de pectina depende de la pureza deseada. El grado de esterificación fue 76.9 ± 0.1 %, lo que correspondió a alto grado de metoxilación.

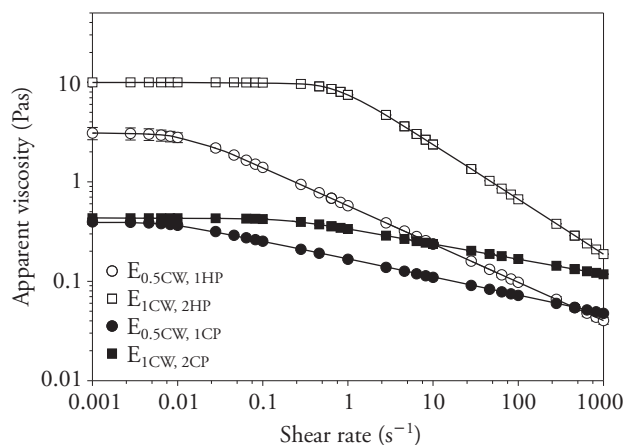


Figure 1. Change of apparent viscosity (η) of emulsions (E) as a function of shear rate ($\dot{\gamma}$). CW: candelilla wax; HP: hawthorn pectin, CP: citric pectin. Subscript numbers indicate concentration of HP, CP, or CW in percentage. Bars indicate standard errors.

Figura 1. Cambio en viscosidad aparente (η) de las emulsiones (E) como función de la velocidad de corte ($\dot{\gamma}$). CW: cera de candelilla; HP: pectina de tejocote; CP: pectina cítrica. Los números en subíndices indican concentración de HP, CP o CW en porcentaje. Las barras corresponden a errores estándar.

exponent that adjusts the slope of the shear thinning region, and λ is a characteristic time constant that adjusts the position of the “knee” in the $\eta - \dot{\gamma}$ curve, where there is an onset of the shear thinning behavior.

$$\eta = \eta_0 \left[1 + (\lambda \dot{\gamma})^2 \right]^{\frac{(n-1)}{2}} \quad (7)$$

The values of parameters in equation (7) are in Table 1. Emulsions based on HP showed higher η_0 values ($p \leq 0.05$) than emulsions based on CP, regardless of their pectin concentration and ϕ values, which coincided with the report of Wang *et al.* (2007), who found that HP tended to exhibit four to six times higher viscosity than citrus or apple pomace pectins. Moreover, Pal (2011) indicated that emulsion rheology is sensitive to biopolymer concentration since an increase in solids in the continuous phase may cause viscosity to increase. On the other hand, McClements (2004) stated that relatively higher ϕ values produce an increase in particle-particle interactions, causing greater slippage between them in a field of flow, resulting also in higher viscosity. In our study, $E_{1CW,2HP}$ exhibited higher η_0 than $E_{0.5CW,1HP}$ ($p \leq 0.05$), which was expected; however,

Propiedades de flujo de emulsiones

La viscosidad aparente (η) de las emulsiones como función de la velocidad de corte ($\dot{\gamma}$), mostró un perfil con una meseta de viscosidad de características Newtonianas (η_0) a bajos valores de $\dot{\gamma}$, seguida de una región de debilitamiento de la estructura con valores medios y altos de $\dot{\gamma}$ (Figura 1). Los datos experimentales $\eta - \dot{\gamma}$ se ajustaron bien ($R^2 > 0.90$ en todos los casos; Cuadro 1) al modelo de Carreau modificado (ecuación 7; Advani y Sozer, 2010), donde n (adimensional) es un índice de comportamiento de flujo que determina la pendiente de la región de debilitamiento de la estructura por cizallamiento y λ es un tiempo característico que ajusta el inicio de la inflexión en la curva $\eta - \dot{\gamma}$ en la región de adelgazamiento viscoso.

$$\eta = \eta_0 \left[1 + (\lambda \dot{\gamma})^2 \right]^{\frac{(n-1)}{2}} \quad (7)$$

Los parámetros de la ecuación (7) están en el Cuadro 1. Las emulsiones basadas en HP mostraron mayores valores en η_0 que las emulsiones basadas en CP ($p \leq 0.05$), independientemente de los valores de concentración de pectina y ϕ , lo que coincidió con el reporte de Wang *et al.* (2007), quienes encontraron que HP tiende a exhibir de cuatro a seis veces mayor viscosidad que las pectinas de cítricos o pulpa de manzana. Además, Pal (2011) indicó que la reología de emulsiones es sensible a la concentración de biopolímeros, dado que un incremento en sólidos en la fase continua puede causar aumento de la viscosidad, en tanto que McClements (2004) estableció que valores relativamente mayores en ϕ producen aumento en las interacciones partícula-partícula, causando mayor deslizamiento entre ellas en un campo de flujo, lo que resulta también en mayor viscosidad. En nuestro estudio, $E_{1CW,2HP}$ exhibió mayor η_0 que $E_{0.5CW,1HP}$ ($p \leq 0.05$), lo cual era esperado; sin embargo, $E_{1CW,2CP}$ tuvo un valor de η_0 similar al de $E_{0.5CW,1HP}$ ($p > 0.05$), lo cual no era esperado.

El comportamiento de las emulsiones con CP se puede explicar considerando dos efectos compensatorios. Por un lado, una mayor concentración de CP tendió a incrementar η_0 , pero por otro, cuando ϕ aumentó, el tamaño de gota aumentó (ver subsección **Tamaño de gota pequeña en emulsiones**), con lo

Table 1. Parameters of the modified Carreau model during rheological characterization of emulsions.
Cuadro 1. Parámetros del modelo de Carreau modificado durante la caracterización reológica de emulsiones.

Emulsion code [†]	Model parameter ^{‡, §}			R ²
	η_0 (Pa s)	λ (s)	n (dimensionless)	
E _{0.5CW,1HP}	3.09 (± 0.7) b	77.52 (± 8.9) b	0.61 (± 0.01) b	0.90 (± 0.004)
E _{1CW,2HP}	9.99 (± 0.3) a	1.36 (± 0.1) d	0.45 (± 0.01) c	0.99 (± 0.003)
E _{0.5CW,1CP}	0.39 (± 0.1) c	116.71 (± 3.7) a	0.82 (± 0.01) a	0.91 (± 0.015)
E _{1CW,2CP}	0.43 (± 0.1) c	5.35 (± 1.5) c	0.85 (± 0.02) a	0.93 (± 0.002)

[†]CW: candelilla wax; HP: hawthorn pectin, CP: citric pectin. Subscript numbers indicate concentration of HP, CP, or CW in percentage. [‡]Model parameters; η_0 : low shear rate limiting viscosity; λ : characteristic time constant related to the relaxation times of biopolymer in the emulsion; n: shear thinning exponent that adjusts the slope of the shear thinning region; R²: determination coefficient. [§]Values in parenthesis are standard errors. Means in a column followed by different letters are significantly different (Tukey, $p \leq 0.05$). [¶]CW: cera de candelilla; HP: pectina de tejocote, CP: pectina cítrica. Los números en los subíndices indican concentración de HP, CP o CW en porcentaje. [‡]Parámetros del modelo; η_0 : viscosidad límite a baja velocidad de corte; λ : constante característica relacionada con el tiempo de relajación de los biopolímeros en la emulsión; n: índice de comportamiento de flujo que determina la pendiente en la región de adelgazamiento por cizalla; R²: coeficiente de determinación. [§]Los valores en paréntesis son errores estándar. Medias en una columna seguidas por letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

E_{1CW,2CP} displayed a η_0 value similar to E_{0.5CW,1HP} ($p > 0.05$), which was unexpected.

The behavior of the CP emulsions can be explained by taking into account two offsetting effects. On one hand, a higher concentration of CP tended to increase η_0 , but on the other, when ϕ increased, droplet sizes increased (see **Emulsions droplet size** sub-section), effectively decreasing the number of droplets per unit volume, resulting in a decrease in η_0 . Thus, the two effects compensated each other.

Parameter λ (Table 1) is related to the relaxation time of an emulsion, and its inverse ($1/\lambda$) is the critical shear rate ($\dot{\gamma}_{\text{critical}}$) at which viscosity begins to decrease (Bosquez-Molina *et al.*, 2010). The values of $\dot{\gamma}_{\text{critical}}$ were as follows: 0.013 s^{-1} (E_{0.5CW,1HP}), 0.736 s^{-1} (E_{1CW,2HP}), 0.009 s^{-1} (E_{0.5CW,1CP}), and 0.187 s^{-1} (E_{1CW,2CP}), which points out that as pectin concentration and ϕ increased, a more stable structure developed in emulsions and the Newtonian region with η_0 value extended over a wider shear rate range. Moreover, emulsions based on CP required lower shear rates than those based on HP to induce a decrease in viscosity, confirming that CP emulsions had a weaker flocculated structure. The HP emulsions exhibited lower n values than CP emulsions (Table 1), regardless of their ϕ values or pectin concentration. These results indicated that CP emulsions had a viscosity less dependent on

cual se redujo efectivamente el número de gotas por unidad de volumen, resultando en un decremento en η_0 y, por tanto, ambos efectos resultaron compensados.

El parámetro λ (Cuadro 1) está relacionado con el tiempo de relajación de una emulsión y su inverso ($1/\lambda$) es la velocidad de corte crítica ($\dot{\gamma}_{\text{critical}}$) a la cual la viscosidad comienza a descender (Bosquez-Molina *et al.*, 2010). Los valores de $\dot{\gamma}_{\text{critical}}$ fueron como sigue: 0.013 s^{-1} (E_{0.5CW,1HP}), 0.736 s^{-1} (E_{1CW,2HP}), 0.009 s^{-1} (E_{0.5CW,1CP}), y 0.187 s^{-1} (E_{1CW,2CP}), lo cual indica que al aumentar la concentración de pectina y el valor de ϕ , se desarrolló una estructura más estable en las emulsiones y la región Newtoniana con valor η_0 se extendió sobre un rango más amplio de velocidad de corte. En adición, las emulsiones basadas en CP requirieron menores velocidades de corte que aquéllas basadas en HP para inducir un decremento en viscosidad, confirmando que las emulsiones con CP tuvieron una estructura flocculada más débil. Las emulsiones con HP exhibieron menores valores de n que las emulsiones con CP (Cuadro 1), independientemente de su concentración de pectina y su valor ϕ . Estos resultados indicaron que las emulsiones con CP tuvieron viscosidad menos dependiente con la velocidad de flujo que las emulsiones con HP, donde el comportamiento pseudoplástico fue más evidente. Además, la tasa de decaimiento de la viscosidad en la

flow rate than HP emulsions, where a pseudoplastic behavior was more evident. Furthermore, the decay rate of viscosity in the shear thinning region of HP emulsions was dependent on both HP concentration and ϕ , the drop being significantly greater as both parameters increased (Table 1). However, in CP emulsions, neither biopolymer concentration nor ϕ produced significant decay in viscosity in the shear thinning region, and n values were not significantly different.

Emulsion droplet size

The emulsions had the following $d_{3,2}$ values: $1.79 (\pm 0.01) \mu\text{m}$ ($E_{0.5\text{CW},1\text{HP}}$) = $1.75 (\pm 0.01) \mu\text{m}$ ($E_{1\text{CW},2\text{HP}}$) = $1.71 (\pm 0.02) \mu\text{m}$ ($E_{0.5\text{CW},1\text{CP}}$) < $1.99 (\pm 0.02) \mu\text{m}$ ($E_{1\text{CW},2\text{CP}}$) (honest significant difference [HSD] = $0.19 \mu\text{m}$). According to McClements (2004), during emulsification, even after shearing has ceased, the droplets are in continual motion and frequently collide with one another because of their Brownian motion and gravity. It is expected that movement and collision frequency are modulated by the apparent viscosity of the continuous phase and by the mass fraction of the disperse phase. Therefore, it is possible that droplet size in $E_{0.5\text{CW},1\text{HP}}$ and $E_{1\text{CW},2\text{HP}}$ was non-significantly different because higher ϕ was balanced with higher apparent viscosity in the latter emulsion. On the other hand, droplet size in $E_{1\text{CW},2\text{CP}}$ was significantly higher than in $E_{0.5\text{CW},1\text{CP}}$, probably because the former had higher ϕ than the latter, but their apparent viscosity was similar throughout the entire shear rate range studied (see **Emulsion flow properties** sub-section).

Film thickness (δ)

Higher pectin concentrations and ϕ values produced significantly thicker films, but the source of the pectin (hawthorn or citrus) had a non-significant effect on this variable. Film thickness varied from 47.3 to 94.3 μm (Table 2). Thickness depends on the method of preparation, and on an industrial scale, values between 150 and 1040 μm can be obtained through casting or extrusion procedures (Pérez-Espitia *et al.*, 2014). In our study, a casting method was used and constant volumes were applied to reduce variability. Galus and Lenart (2013) showed that an increase in pectin concentration can increase thickness because of

región de adelgazamiento de las emulsiones con HP fue dependiente tanto de la propia concentración de HP como de ϕ , siendo la caída significativamente mayor a medida que ambos parámetros aumentaron (Cuadro 1). Sin embargo, en las emulsiones con CP, ninguna de las variables, concentración de biopolímero o ϕ , produjeron reducción significativa en viscosidad en la región de adelgazamiento y los valores de n no mostraron diferencia significativa.

Tamaño de gota pequeña de emulsiones

Las emulsiones tuvieron los siguientes valores de diámetro $d_{3,2}$: $1.79 (\pm 0.01) \mu\text{m}$ ($E_{0.5\text{CW},1\text{HP}}$) = $1.75 (\pm 0.01) \mu\text{m}$ ($E_{1\text{CW},2\text{HP}}$) = $1.71 (\pm 0.02) \mu\text{m}$ ($E_{0.5\text{CW},1\text{CP}}$) < $1.99 (\pm 0.02) \mu\text{m}$ ($E_{1\text{CW},2\text{CP}}$) (diferencia significativa honesta [HSD] = $0.19 \mu\text{m}$). De acuerdo con McClements (2004), durante la emulsificación, aun antes que el cizallamiento ha cesado, las gotas pequeñas pueden estar en movimiento continuo y frecuentemente colisionan entre sí por causa de la gravedad y de su movimiento Browniano. Se espera que el movimiento y la frecuencia de colisión sean moduladas por la viscosidad aparente de la fase continua y por la fracción másica de la fase dispersa. Por tanto, es posible que el tamaño de partícula en $E_{0.5\text{CW},1\text{HP}}$ y $E_{1\text{CW},2\text{HP}}$ no fue significativamente diferente porque el mayor ϕ fue balanceado con la mayor viscosidad aparente en la segunda emulsión. Además, el tamaño de partícula en $E_{1\text{CW},2\text{CP}}$ fue significativamente mayor que en $E_{0.5\text{CW},1\text{CP}}$, debido probablemente a que la primera tuvo mayor ϕ que la segunda, pero su viscosidad aparente fue similar en todo el rango de velocidad de corte estudiado (ver subsección **Propiedades de flujo de emulsiones**).

Espesor de películas

Concentraciones mayores de pectina y ϕ produjeron películas significativamente más gruesas, pero el origen de la pectina (tejocote o cítricos) no tuvo efecto significativo en esta variable. El espesor de las películas varió de 47.3 a 94.3 μm (Cuadro 2). El espesor depende del método de preparación. A nivel industrial se pueden obtener valores entre 150 y 1040 μm a través de métodos de vaciado o extrusión (Pérez-Espitia *et al.*, 2014). En nuestro estudio se usó un método de vaciado y se usaron volúmenes

Table 2. Thickness, transparency, tensile strength, elongation at break, and water vapor permeability of edible films. Cuadro 2. Espesor, transparencia, resistencia a la tensión, capacidad de estiramiento hasta ruptura y permeabilidad a vapor de agua de películas comestibles.

Parameter [†]	Film code ^{‡, §}				HSD
	F _{0.5CW,1HP}	F _{1CW,2HP}	F _{0.5CW,1CP}	F _{1CW,2CP}	
δ	63.0 (± 3.0) b	94.3 (± 5.1) a	47.3 (± 10.2) b	102.0 (± 8.5) a	19.10
T_r	1.98 (± 0.04) a	1.43 (± 0.05) b	2.03 (± 0.06) a	1.56 (± 0.03) b	0.26
τ	0.16 (± 0.04) b	0.22 (± 0.01) a	0.14 (± 0.01) b	0.06 (± 0.03) c	0.06
EB	57.2 (± 2.1) a	4.4 (± 1.8) d	23.9 (± 2.8) b	15.4 (± 2.5) c	5.46
$WVP \times 10^{14}$	9.3 (± 0.7) a	1.3 (± 0.3) b	9.2 (± 2.0) a	1.2 (± 0.3) b	6.01

[†]Films parameters; δ : thickness (μm); T_r : transparency (%); τ : tensile strength (MPa); EB : elongation at break (%); WVP : water vapor permeability ($\text{mol m s}^{-1} \text{m}^{-2} \text{Pa}^{-1}$). [‡]CW: candelilla wax, HP: hawthorn pectin, CP: citric pectin. Subscript numbers indicate concentration of HP, CP, or CW in percentage. [§]Values in parenthesis are standard errors. Means in a row followed by different letters are significantly different. HSD: honest significant difference (Tukey, $p \leq 0.05$). [¶]Parámetros de películas; δ : espesor (μm); T_r : transparencia (%); τ : resistencia a la tensión (MPa); EB : capacidad de estiramiento hasta ruptura (%); WVP : permeabilidad a vapor de agua ($\text{mol m s}^{-1} \text{m}^{-2} \text{Pa}^{-1}$). [‡]CW: cera de candelilla, HP: pectina de tejocote, CP: pectina cítrica. Los números en los sub-índices indican concentración de HP, CP, or CW en porcentaje. [§]Los valores en paréntesis son errores estándar. Medias en un renglón seguidas por letras distintas son significativamente diferentes. HSD: diferencia significativa honesta (Tukey, $p \leq 0.05$).

the colloidal properties of this compound. However, the increment in thickness was also associated with an increment of lipids in films (Ghasemlou *et al.*, 2011; Ayala-Zavala *et al.*, 2012).

Film transparency

All films were opaque even though CMC was incorporated into the formulations; according to Aulin *et al.* (2013), CMC has the ability to make films transparent. It is possible that CW droplets scatter in emulsions and reflect light in the same way as a beam of light passing through the medium (Tyndall effect). This effect is more pronounced with higher disperse phase concentrations. In our study, the increase in ϕ caused a reduction in transparency, regardless of the source of pectin (Table 2). Transparency varied as follows: $F_{0.5CW,1CP}$ (2.03) = $F_{0.5CW,1HP}$ (1.98) > $F_{1CW,2CP}$ (1.56) = $F_{1CW,2HP}$ (1.43). Besides, it is reported that the opaque appearance may increase in edible films if the lipid component is present in higher concentrations (Fabra *et al.*, 2009; Rodrigues *et al.*, 2014).

Mechanical properties of films

Mechanical properties of polysaccharide-based films are often reported in terms of tensile

constantes para reducir la variabilidad. Galus y Lenart (2013) mostraron que un aumento en pectina puede causar un incremento en espesor, debido a las propiedades coloidales de este compuesto. Sin embargo, el aumento en espesor se ha asociado también con un incremento de lípidos en las películas (Ghasemlou *et al.*, 2011; Ayala-Zavala *et al.*, 2012).

Transparencia de películas

Todas las películas fueron opacas aun cuando las formulaciones fueron incorporadas con CMC. De acuerdo con Aulin *et al.* (2013), la CMC tiene la habilidad de formar películas transparentes. Es posible que las gotas de cera se dispersan en la emulsión y reflejan la luz en la misma forma como un rayo de luz atraviesa el medio (efecto Tyndall). Este efecto es más pronunciado a medida que la concentración de la fase dispersa es mayor. En nuestro estudio, el aumento en ϕ causó reducción en transparencia, independientemente del origen de la pectina (Cuadro 2). La transparencia varió como sigue: $F_{0.5CW,1CP}$ (2.03) = $F_{0.5CW,1HP}$ (1.98) > $F_{1CW,2CP}$ (1.56) = $F_{1CW,2HP}$ (1.43). Además, la apariencia opaca puede aumentar en las películas comestibles si el componente lipídico está presente en mayor concentración (Fabra *et al.*, 2009; Rodrigues *et al.*, 2014).

strength (τ) and elongation at break (EB). The τ accounts for the film's mechanical resistance due to cohesion forces between chains, while EB measures its plasticity, which is the capacity to stretch before breaking (Galus and Lenart, 2013). A high τ is generally necessary for edible films to withstand the normal stress that occurs during their application, subsequent shipping, and handling. However, due to their structure, films with high τ show low EB (Galus and Lenart, 2013). In our study, τ increased from 0.155 to 0.219 MPa as the HP concentration increased, but decreased from 0.136 to 0.063 MPa as CP concentration increased in films. According to Silva-Weiss *et al.* (2013), τ can increase or decrease as a function of the interaction between ingredients. Thus, based on rheological properties, CP films came from emulsions with a weaker structure than those of HP films, reflected in lower τ of the former. However, the values we found were low. Maftoonazad *et al.* (2007) reported τ of 2.0-7.5 MPa in pectin-beeswax films, for polysaccharide concentrations ranging from 2.0 to 9.0 %. Besides, Farris *et al.* (2011) found 11.09 MPa in gelatin-pectin films and indicated that ionic interactions between the positively charged gelatin and the negatively charged pectin produced hydrogels with homogeneous molecular arrangement that improved tensile strength. The inclusion of a lipid disperse phase can reduce τ because of a relaxation of the polymeric matrix (Fabra *et al.*, 2009; Navarro-Tarazaga *et al.*, 2011). In the particular case of CP films, the reduction of τ in the measure that ϕ increased can possibly be attributed to interrupted aggregation of the CP pectin chains in the network by relatively large disperse phase droplets, which could favor the chains' sliding during film stretching, showing plastic (non-elastic) behavior (Bonilla *et al.*, 2012). In contrast, in the case of HP films, as pectin concentration increased, a more coherent and intermingled polysaccharide matrix arose, diminishing the effect of CW in structure relaxation, as was evidenced by an increased τ . The increase in pectin and CW concentrations, however, caused a significant reduction in the films' ability to stretch before breaking (EB), with values ranging from 57.2 to 4.4 % in HP films and from 23.9 to 15.4 % in the CP films (Table 2), suggesting an increment in structure rigidity. Our results indicate that HP forms self-supported films that have good mechanical properties, but are highly brittle. In order to increase

Propiedades mecánicas de películas

Las propiedades mecánicas de películas basadas en polisacáridos están a menudo reportadas en términos de resistencia la tensión (τ) y capacidad de estiramiento hasta ruptura (EB). La τ hace referencia a la resistencia mecánica de la película debido a fuerzas de cohesión entre cadenas, en tanto que EB mide la plasticidad o capacidad para extenderse antes de la ruptura (Galus y Lenart, 2013). Un valor alto en τ es generalmente necesario en películas comestibles con el propósito de soportar la tensión normal encontrada durante su aplicación en un alimento, el envasado de éste y su posterior manipulación. Sin embargo, debido a su estructura, las películas con alto τ muestran bajo EB (Galus y Lenart, 2013). En nuestro estudio, τ aumentó de 0.155 a 0.219 MPa al incrementar la concentración de HP, pero disminuyó de 0.136 a 0.063 MPa a medida que aumentó la concentración de CP en las películas. De acuerdo con Silva-Weiss *et al.* (2013), τ puede aumentar o disminuir en función de la interacción entre ingredientes. Por tanto, con base en propiedades reológicas, las películas con CP provinieron de emulsiones con estructura más débil que aquéllas con HP y esto se reflejó en una menor τ de las primeras. Sin embargo, los valores encontrados fueron pequeños. Maftoonazad *et al.* (2007) reportaron τ de 2.0-7.5 MPa en películas de pectina-cera de abeja, para concentraciones del polisacárido entre 2.0 y 9.0 %. Además, Farris *et al.* (2011) encontraron 11.09 MPa en películas de gelatina-pectina e indicaron que las interacciones iónicas entre la gelatina cargada positivamente y la pectina cargada negativamente produjeron hidrogeles con arreglos moleculares homogéneos que mejoraron la resistencia a la tensión. La inclusión de una fase dispersa lipídica puede reducir τ , debido a una relajación de la matriz polimérica (Fabra *et al.*, 2009; Navarro-Tarazaga *et al.*, 2011). En el caso particular de películas con CP, la reducción de τ a medida que ϕ aumentó puede posiblemente ser atribuida a la interrupción de la agregación de cadenas de CP en la red por las gotas relativamente grandes de la fase dispersa, la cual pudo favorecer el deslizamiento de cadenas durante el estiramiento, mostrando más bien un comportamiento plástico (no elástico) (Bonilla *et al.*, 2012). En contraste, en el caso de películas con HP, a medida que la concentración de pectina aumentó surgió una matriz del polisacárido más coherente y con mayor entre-

the elasticity of films, plasticizers, such as sorbitol and glycerol, should be added. Plasticizers act chemically between polymeric molecular chains, reducing cohesion forces and allowing the structure to extend. Maftoonazad *et al.* (2007) reported that *EB* increased when sorbitol was added to pectin-based films; they attributed such behavior to the replacement of pectin-pectin hydrogen bonds with pectin-sorbitol hydrogen bonds, reducing direct interaction between polymer chains and increasing chain segmental mobility, which enhanced film elongation at break. In our study, plasticization was achieved with a constant amount of glycerol in films, regardless of pectin concentration. However, it is possible that the replacement of pectin-pectin hydrogen bonds with pectin-glycerol hydrogen bonds was not enough to produce an increase in *EB*.

Water vapor permeability

The increment in pectin and CW concentrations produced a significant reduction in water vapor permeability (WVP), from 9.26×10^{-14} to 1.25×10^{-14} mol m s⁻¹ m⁻² Pa⁻¹ (average values), regardless of the pectin source used (Table 2). This behavior was expected since the incorporation of a lipid compound into a polymeric film causes reduction in WVP (Bahram *et al.*, 2014; Baldwin and Hagenmaier, 2012). Bosquez-Molina *et al.* (2003) reported that mesquite gum-based films decreased WVP by 29.1 % when candelilla wax (1.75 % w/w) was added to the polymeric matrix, while Ruíz-Ramos *et al.* (2006) reported a decrease of 34.6 % in WVP when 2 % w/w CW was added to mesquite gum-chitosan based films. Likewise, Chick and Hernandez (2002) reported a reduction of 27.3 % in WVP of casein-based films when 5 % CW was added. The WVP values of films of our study were lower than typical values reported in the literature for other pectin-based films, which is a positive characteristic. Particularly, the values found were lower than those of carrageenan-pectin films (9.5×10^{-11} mol m s⁻¹ m⁻² Pa⁻¹; Alves *et al.*, 2010) or films with pectin as the sole ingredient (9.6×10^{-12} mol m s⁻¹ m⁻² Pa⁻¹; Galus and Lenart, 2013), with no lipid addition. WVP is an important variable when a biopolymeric film is to be used in the postharvest conservation of horticultural products, which can undergo high transpiration rates and loss

cruzamiento, disminuyendo el efecto de CW en la relajación de la estructura, como fue evidenciado por un incremento en τ . El aumento en concentración de pectina y CW, sin embargo, causó reducción significativa en la capacidad de estiramiento de las películas antes de la ruptura (*EB*), con valores de 57.2 a 4.4 % en películas con HP y de 23.9 a 15.4 % en películas con CP (Cuadro 2), lo que sugiere un incremento en rigidez de la estructura. Nuestros resultados indican que HP forma películas auto-soportadas con buenas propiedades mecánicas, pero con gran fragilidad. Para aumentar la capacidad de estiramiento de las películas, se debería agregar plastificantes como sorbitol y glicerol, que actúan químicamente entre las cadenas poliméricas moleculares, reduciendo las fuerzas de cohesión y permitiendo el estiramiento de la estructura. Maftoonazad *et al.* (2007) reportaron un incremento en *EB* cuando agregaron sorbitol a películas basadas en pectina y atribuyeron tal comportamiento a la sustitución de puentes de hidrógeno pectina-pectina con puentes de hidrógeno pectina-sorbitol, lo que redujo la interacción directa entre cadenas poliméricas y aumentó de la movilidad segmental de cadenas, lo cual mejoró la extensibilidad de las películas. En nuestro estudio, la plastificación se consiguió con cantidades constantes de glicerol en las películas, independientemente de la concentración de pectina, pero quizá el reemplazo de puentes de hidrógeno pectina-pectina con puentes de hidrógeno pectina-glicerol no fue suficiente para producir un aumento en *EB*.

Permeabilidad a vapor de agua

El aumento en concentración de pectina y CW causó reducción significativa en la permeabilidad a vapor de agua (WVP), de 9.26×10^{-14} a 1.25×10^{-14} mol m s⁻¹ m⁻² Pa⁻¹ (valores promedio), independientemente del origen de la pectina usada (Cuadro 2). Este comportamiento era esperado, pues la incorporación de un compuesto lipídico en una película polimérica causa reducción en WVP (Bahram *et al.*, 2014; Baldwin y Hagenmaier, 2012). Bosquez-Molina *et al.* (2003) reportaron que en películas basadas en goma de mezquite se tuvo un decremento de 29.1 % en WPV cuando la cera de candelilla fue agregada (1.75 % p/p) a la matriz polimérica, en tanto que Ruíz-Ramos *et al.* (2006) reportaron un decremento de 34.6 % en WVP

of quality when they are exposed to environments with low relative humidity (Morillon *et al.*, 2002). Therefore, it is very important to use films with low WVP. Thus, we underline this effect of CW in our study; its incorporation may improve the potential of pectin films to protect products from dehydration.

Film application

The application of edible coatings on horticultural commodities has several purposes: to reduce water losses and solutes, to limit gaseous exchange with the environment, and to act as a vehicle for incorporating additives (Martín-Belloso *et al.*, 2005). Since pectin is a polymer with high hydrophilicity, it is necessary to verify that the coatings based on pectin-candelilla wax are useful in reducing transpiration when they are applied on horticultural products. The edible mushroom *P. ostreatus* has a short shelf life and one of the main deterioration factors of this product is a high rate of transpiration, which causes high weight losses. In addition, the fungus undergoes rapid deterioration in postharvest, which is accompanied by high respiration rates (Villaescusa and Gil, 2003) and suggests high metabolic activity. Emulsions based on HP-CW were applied on slices of *P. ostreatus* in order to verify, first, that their water barrier properties are high enough to reduce transpiration rate and, second, that changes in quality attributes are reduced sufficiently to lengthen shelf life. Good performance of coatings on this type of material would be evidence of its potential for application on other horticultural products.

The material of the treatment without antioxidant and without coating (C_1) deteriorated rapidly; deterioration was characterized by the presence of dark spots and evidence of decay by day 10, indicating the end of its shelf life. This situation was accompanied by high weight loss rate, although no significant difference was found between the fungus treated with an antioxidant solution (C_2) and the material coated with the emulsion $E_{0.5CW,1HP}$ (E_1). In contrast, application of the emulsion $E_{1CW,2HP}$ (E_2) significantly reduced weight loss of the fungus relative to the control treatments (Figure 2A). Since the practice of adding a lipid compound has proved to reduce weight loss (Bibi and Baloch, 2014), the beneficial effect of E_2 was attributed to the higher presence of candelilla wax, which was coherent with

cuando se agregó CW en proporción de 2 % (p/p) a películas de goma de mezquite-quitosano. Similarmente, Chick y Hernandez (2002) reportaron una reducción de 27.3 % en WVP de películas basadas en caseína cuando se agregó 5 % de CW. Los valores de WVP de las películas de nuestro estudio fueron menores que los valores típicos reportados en la literatura para otras películas basadas en pectina, lo cual es una característica positiva. En particular, los valores encontrados fueron menores que los de películas de carragenina-pectina ($9.5 \times 10^{-11} \text{ mol m s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ Pa}^{-1}$; Alves *et al.*, 2010) o películas basadas en pectina como único ingrediente ($9.6 \times 10^{-12} \text{ mol m s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ Pa}^{-1}$; Galus y Lenart, 2013), sin la adición de lípidos. WVP es una variable importante cuando una película biopolimérica se usará en la conservación de productos hortofrutícolas en postcosecha, dado que éstos pueden experimentar velocidades de transpiración altas y pérdida de calidad cuando se les expone a ambientes de baja humedad relativa (Morillon *et al.*, 2002). Por tanto, es muy importante usar películas con baja WVP y esto enfatiza el efecto causado por CW en nuestro estudio, dado que su incorporación puede mejorar el potencial de las películas de pectina para proteger los productos de la deshidratación.

Aplicación de películas

La aplicación de recubrimientos comestibles sobre productos hortofrutícolas tiene varios propósitos: reducir la pérdida de agua y solutos, limitar el intercambio gaseoso con el ambiente y actuar como vehículo para la incorporación de aditivos (Martín-Belloso *et al.*, 2005). Dado que la pectina es un polímero con alta hidrofiliidad, es necesario verificar que los recubrimientos basados en pectina-cera de candelilla sean útiles para reducir la transpiración cuando sean aplicados sobre productos hortofrutícolas. El hongo comestible *P. ostreatus* tiene corta vida de anaquel y uno de los principales factores de su deterioro está dado por altas tasas de transpiración que causan altas pérdidas de peso. En adición, el hongo experimenta rápido deterioro en postcosecha, lo cual es acompañado por velocidades de respiración altas (Villaescusa y Gil, 2003) y sugiere actividad metabólica alta. Las emulsiones basadas en HP-CW fueron aplicadas sobre rodajas de *P. ostreatus* con el propósito de verificar, primero, que desarrollan propiedades de

the lower water vapor permeability (WVP) found in the corresponding films.

Firmness of the material in both control treatments and that of treatment E₁ suffered continuous reduction during storage, while the mushrooms in treatment E₂ remained significantly firmer than the rest during the first 10 days of storage, although afterwards there was a gradual decrease in that mechanical property (Figure 2C). The material of all treatments exhibited a yellowish

barrera a vapor de agua que son suficientemente altas para reducir la velocidad de transpiración y, segundo, que los cambios en atributos de calidad son reducidos suficientemente para conseguir alargar la vida de anaquel. Un buen comportamiento de los recubrimientos en este tipo de materiales puede ser evidencia de su potencial para aplicarlos en otros productos hortofrutícolas.

El material del tratamiento sin antioxidante y sin recubrimiento (C₁) mostró rápido deterioro, el cual

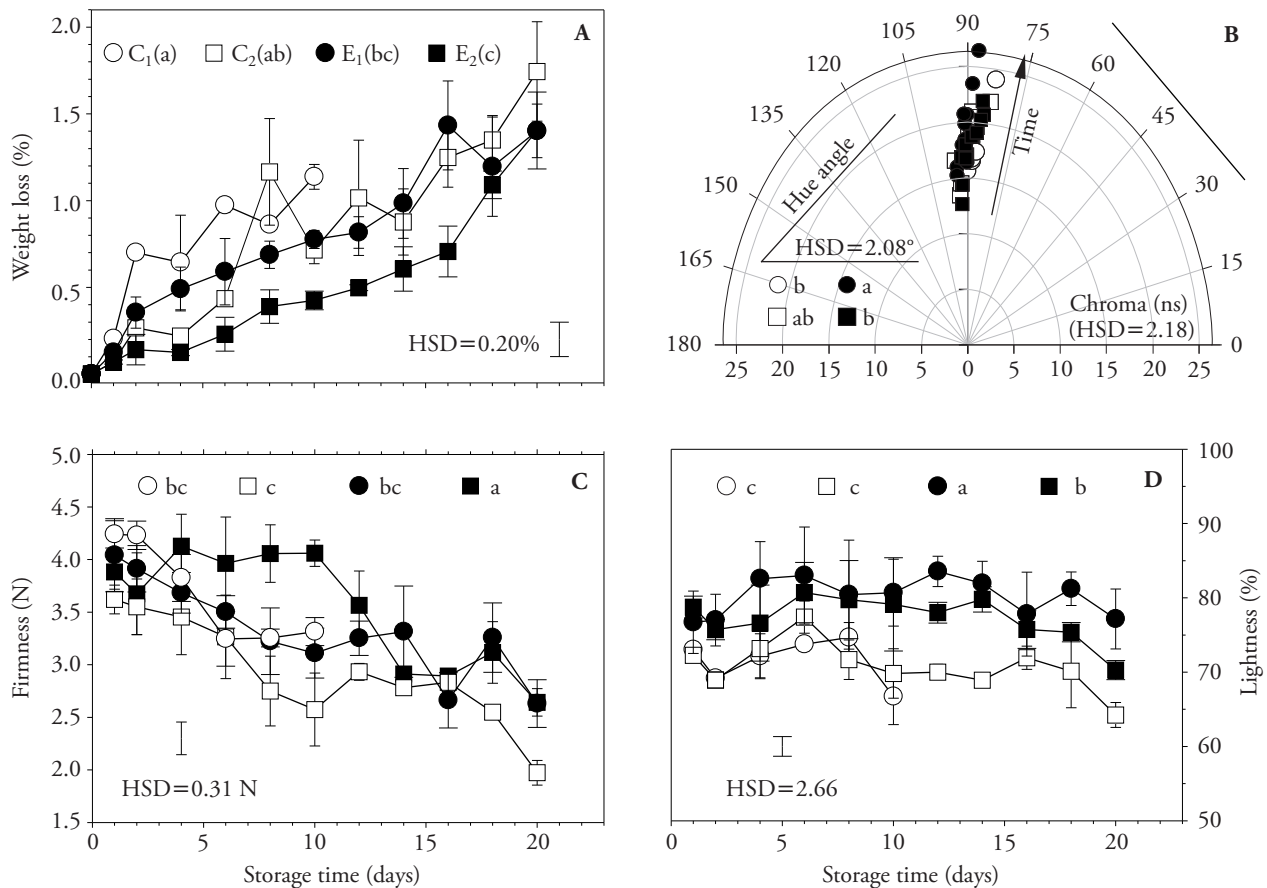


Figure 2. Physiological behavior of *Pleurotus ostreatus* during 20 days of storage expressed as cumulative weight loss (A), hue angle and chroma (B), firmness (C), and lightness (D). C₁: control treatment without antioxidant and without coating; C₂: control treatment with antioxidant solution but without no additional coating; E₁: material treated with antioxidant solution and coated with 0.5 % CW and 1 % HP emulsion (E_{0.5CW,1HP}); E₂: material treated with antioxidant solution and coated with 1 % CW and 2 % HP (E_{1CW,2HP}) emulsion, where CW is candelilla wax and HP is hawthorn pectin. Different letters indicate significant difference. HSD: honest significant difference (Tukey, $p \leq 0.05$). Error bars correspond to standard error.

Figura 2. Comportamiento fisiológico de *Pleurotus ostreatus* durante un almacenamiento de 20 días expresado como pérdida acumulativa de peso (A), ángulo de matiz y cromaticidad (B), firmeza (C) y luminosidad (D). C₁: tratamiento testigo sin tratamiento antioxidante y sin ningún recubrimiento; C₂: tratamiento testigo con solución antioxidante pero sin ningún recubrimiento adicional; E₁: material tratado con solución antioxidante y recubierto con emulsión con 0.5 % CW y 1 % HP (E_{0.5CW,1HP}); E₂: material tratado con solución antioxidante y recubierto con emulsión con 1 % CW y 2 % HP (E_{1CW,2HP}), donde CW es cera de candelilla y HP es pectina de tejocote. Letras diferentes indican diferencia significativa. HSD: diferencia significativa honesta (Tukey, $p \leq 0.05$). Las barras de error corresponden a error estándar.

tonality and, although hue had the lowest value in treatment C_1 and the highest in treatment E_2 , the differences had no practical importance. In the case of chroma, there were no significant differences (Figure 2B), but lightness was significantly higher in material coated with a HP-CW emulsion than in either control treatment (Figure 2D), underlining that the coating improved the appearance of the mushroom. Falguera *et al.* (2011) reported that application of biopolymeric coatings on the surface of fresh produce may induce a modified atmosphere effect inside tissue, affecting color, firmness, sensory quality, microbial growth, and ethylene production, and results in longer shelf life. In our study, the beneficial effects obtained with emulsions of 2 % HP and 1 % CW suggest that the corresponding coatings exhibited properties as barriers to O_2 and CO_2 that were high enough to reduce metabolic activity. However, permeability of coatings to these gases should be evaluated in future studies to contribute more information that could explain the benefits found. Nevertheless, HP and CW coatings with 2 and 1 %, respectively, could be used as part of a postharvest conservation strategy for horticultural products, since they exhibited good potential to reduce deterioration factors in the oyster mushroom *P. ostreatus*. Moreover, the use of pectin extracted from hawthorn fruit in coating formulations may constitute a feasible strategy for adding value to this species.

CONCLUSIONS

Emulsions based on hawthorn pectin and candelilla wax exhibited rheological behavior that corresponded to a pseudoplastic fluid, which was coherent with the modified Carreau model. The increment in pectin concentration allowed a broader Newtonian phase, with a stable particle size in the disperse phase.

The polymeric films showed tensile strength that increased with increments in pectin concentration, causing, at the same time, a reduction in elongation at break and increased opacity. Water vapor permeability was low and, thus, these films can be good barriers to water vapor exchange. Films based on hawthorn pectin and candelilla wax exhibited good potential for use in postharvest conservation of the oyster mushroom *Pleurotus ostreatus*.

se caracterizó por la presencia de manchas oscuras, dando evidencia de decaimiento al día 10 e indicando el término de la vida útil del material. Esta situación fue acompañada por alta velocidad de pérdida de peso, aunque no hubo diferencia significativa con el hongo tratado con una solución antioxidante (C_2) y tampoco con el material cubierto con la emulsión $E_{0.5CW,1HP}$ (E_1). En contraste, la aplicación de la emulsión $E_{1CW,2HP}$ (E_2) redujo significativamente la pérdida de peso del hongo en relación a los tratamientos control (Figura 2A). Dado que la práctica de adicionar un compuesto lipídico ha probado que causa reducción en la pérdida de peso (Bibi and Baloch, 2014), el efecto benéfico de E_2 fue atribuido a la mayor presencia de cera de candelilla, lo cual fue coherente con la menor permeabilidad a vapor de agua (WVP) que fue encontrada en las películas correspondientes.

La firmeza del material de ambos tratamientos control y aquella del tratamiento E_1 experimentó reducción continua durante el almacenamiento, mientras el hongo del tratamiento E_2 mantuvo firmeza significativamente mayor que el resto durante los primeros 10 días de almacenamiento, aunque posteriormente experimentó una reducción gradual en esta propiedad mecánica (Figura 2C). El material de todos los tratamientos mostró tonalidad amarillenta y, aunque el ángulo de matiz tuvo el menor valor en el tratamiento C_1 y el mayor en el tratamiento E_2 , las diferencias no tuvieron importancia práctica. En el caso de la cromaticidad no hubo diferencias significativas (Figura 2B), pero la luminosidad fue significativamente mayor en el material recubierto con una emulsión de HP-CW que en ambos tratamientos control (Figura 2D), lo que indicó que el recubrimiento mejoró la apariencia del hongo. Falguera *et al.* (2011) reportaron que la aplicación de recubrimientos biopoliméricos sobre la superficie de productos hortofrutícolas puede inducir un efecto de atmósfera modificada, que puede afectar el color, la firmeza, la calidad sensorial, el crecimiento microbiano, la producción de etileno, y resulta en alargamiento de la vida de anaquel. En nuestro estudio, los efectos benéficos obtenidos con emulsiones con HP y CW con 2 y 1 % en concentración, respectivamente, sugirieron que los recubrimientos correspondientes exhibieron propiedades de barrera a O_2 y CO_2 que fueron suficientemente altas para causar reducción de la actividad metabólica. Sin embargo, la permeabilidad de

LITERATURE CITED

- Advani, S. G., and E. M. Sozer. 2010. *Process Modeling in Composites Manufacturing*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 630 p.
- Alparslan, Y., T. Baygar, T. Baygar, H. Hasanhocoglu, and C. Metin. 2014. Effects of gelatin-based edible films enriched with laurel essential oil on the quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during refrigerated storage. *Food Technol. Biotech.* 52: 325-333.
- Alves, V. D., N. Costa, and I. M. Coelho. 2010. Barrier properties of biodegradable composite films based on kappa-carrageenan/pectin blends and mica flakes. *Carbohydr. Polym.* 79: 269-276.
- Aulin, C., E. Karabulut, A. Tran, L. Wågberg, and T. Lindström. 2013. Transparent nanocellulosic multilayer thin films on polylactic acid with tunable gas barrier properties. *ACS Appl. Mater. Inter.* 5: 7352-7359.
- Ayala-Zavala, J. F., B. A. Silva-Espinoza, M. R. Cruz-Valenzuela, J. M. Leyva, L. A. Ortega-Ramírez, D. K. Carrasco-Lugo, J. J. Pérez-Carlón, B. G. Melgarejo-Flores, G. A. González-Aguilar, and M. R. A. Miranda. 2012. Pectin-cinnamon leaf oil coatings add antioxidant and antibacterial properties to fresh-cut peach. *Flavour Frag. J.* 28: 39-45.
- Azeredo, H. M. C., L. H. C. Mattoso, D. Wood, T. G. Williams, R. J. Avena-Bustillos, and T. H. McHugh. 2009. Nanocomposite edible films from mango puree reinforced with cellulose nanofibers. *J. Food Sci.* 74: N31-N35.
- Bahram, S., M. Rezaei, M. Soltani, A. Kamali, S. M. Ojagh, and M. Abdollahi. 2014. Whey protein concentrate edible film activated with cinnamon essential oil. *J. Food Process. Pres.* 38: 1251-1258.
- Baldwin, E. A., and R. D. Hagenmaier. 2012. Introduction. In: Baldwin, E. A., R. Hagenmaier, and J. Bai (eds). *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*. CRC Press, Boca Raton, FL. pp. 1-12.
- Bibi, F., and M. K. Baloch. 2014. Postharvest quality and shelf life of mango (*Mangifera indica* L.) fruit as affected by various coatings. *J. Food Process. Pres.* 38: 499-507.
- Bonilla, J., L. Atarés, M. Vargas, and A. Chiralt. 2012. Effect of essential oils and homogenization conditions on properties of chitosan-based films. *Food Hydrocolloid.* 26: 9-16.
- Bosquez-Molina, E., I. Guerrero-Legarreta, and E. J. Vernon-Carter. 2003. Moisture barrier properties and morphology of mesquite gum-candelilla wax based edible emulsion coatings. *Food Res. Int.* 36: 885-893.
- Bosquez-Molina, E., S. A. Tomás, and M. E. Rodríguez-Huezo. 2010. Influence of CaCl₂ on the water vapor permeability and the surface morphology of mesquite gum based edible films. *LWT-Food Sci. Technol.* 43: 1419-1425.
- Castro-Freitas, D. G., S. A. Garcia-Berbari, P. Prati, F. M. Fakhouri, F. P. Collares-Queiroz, and E. Vicente. 2009. Reducing fat uptake in cassava product during deep-fat frying. *Food Eng.* 94: 390-394.
- Chana-Thaworn, J., S. Chanthachum, and T. Wittaya. 2011. Properties and antimicrobial activity of edible films incorporated with kiam wood (*Cotyleobium lanceotatum*) extract. *LWT-Food Sci. Technol.* 44: 284-292.
- Chang, Q., Z. Zuo, F. Harrison, and M. S. S. Chow. 2002. Hawthorn. *J. Clin. Pharmacol.* 42: 605-612.
- los recubrimientos a estos gases deberá ser evaluada en trabajos futuros, con el propósito de disponer de mayor información que permita explicar los beneficios encontrados. No obstante, los recubrimientos de HP y CW con 2 y 1 %, respectivamente, se podrían usar como parte de una estrategia de conservación de productos hortofrutícolas, en virtud de que exhiben buen potencial para reducir el efecto de los factores de deterioro en el hongo *P. ostreatus*. En adición, el uso de pectina extraída de frutos de tejocote en formulaciones de recubrimientos puede constituir una estrategia factible para agregar valor a esta especie.

CONCLUSIONES

Las emulsiones basadas en pectina de tejocote y cera de candelilla exhibieron un comportamiento reológico que correspondió a un fluido pseudoplástico, lo que fue coherente con el modelo de Carreau modificado. El incremento en la concentración de pectina permitió una región Newtoniana más amplia, con un tamaño de partícula estable en la fase dispersa.

Las películas poliméricas mostraron resistencia a la tensión que incrementó con el incremento en la concentración de pectina, causando, al mismo tiempo, reducción en la capacidad de estiramiento hasta ruptura, con incremento de opacidad. La permeabilidad a vapor de agua fue baja y, por tanto, estas películas pueden ser buenas barreras al intercambio a vapor de agua. Las películas basadas en pectina de tejocote y cera de candelilla exhibieron buen potencial para ser usadas en la conservación postcosecha del hongo *Pleurotus ostreatus*.

—Final de la versión en Español—



Chick, J., and R. J. Hernandez. 2002. Physical, thermal, and barrier characterization of casein-wax-based edible films. *J. Food Sci.* 67: 1073-1079.

Fabra, M. J., P. Talens, and A. Chiralt. 2009. Microstructure and optical properties of sodium caseinate films containing oleic acid-beeswax mixtures. *Food Hydrocolloid.* 23: 676-683.

Falguera, V., J. P. Quintero, A. Jiménez, J. A. Muñoz, and A. Ibarz. 2011. Edible films and coatings, structures, active functions and trends in their use. *Trends Food Sci. Tech.* 22: 292-303.

Farris, S., K. M. Schaich, L. Liu, P. H. Cooke, L. Piergiovanni, and K. L. Yam. 2011. Gelatin-pectin composite films from polyion-complex hydrogels. *Food Hydrocolloid.* 25: 61-70.

- FDA (Food and Drug Administration). 2003. Code of federal regulations title 21, food and drugs, CFR184. Department of Health and Human Services, Washington DC, USA. pp: 559.
- Fishman, M. L., D. R. Coffin, R. P. Konstance, and C. I. Onwulata. 2000. Extrusion of pectin/starch blends plasticized with glycerol. *Carbohydr. Polym.* 41: 317-325.
- Galus, S., and A. Lenart. 2013. Development and characterization of composite edible films based on sodium alginate and pectin. *J. Food Eng.* 115: 459-465.
- García-Mateos, R., E. Ibarra-Estrada, and R. Nieto-Angel. 2013. Antioxidant compounds in hawthorn fruits (*Crataegus* spp.) of Mexico. *Rev. Mex. Biodiv.* 84: 1298-1304.
- García-Mateos, R., L. Aguilar-Santelises, M. Soto-Hernández, R. Nieto-Angel, and G. Kite. 2012. Total phenolic compounds, flavonoids and antioxidant activity in the flowers of *Crataegus* spp. from México. *Agrociencia* 46: 651-662.
- Gennadios, A., C. L. Weller, and C. H. Gooding. 1994. Measurement errors in water vapor permeability of highly permeable, hydrophilic edible films. *J. Food Eng.* 21: 395-409.
- Ghasemlou, M., F. Khodaiyan, A. Oromiehie, and M. S. Yarmand. 2011. Characterization of edible emulsified films with low affinity to water based on kefir and oleic acid. *Int. J. Biol. Macromol.* 49: 378-384.
- Gregori, A., M. Švagelj, and J. Pohleven. 2007. Cultivation techniques and medicinal properties of *Pleurotus* spp. *Food Technol. Biotech.* 45: 238-249.
- Hummer, K. E., and J. Janick. 2009. Rosaceae: taxonomy, economic importance, genomics. *In: Folia, K. M., and S. E. Gardiner (eds). Genetics and Genomics of Rosaceae, Plant Genetics and Genomics: Crops and Models 6.* Springer, New York, USA. pp. 1-18.
- Maftoonazad, N., H. S. Ramaswamy, and M. Marcotte. 2007. Evaluation of factors affecting barrier, mechanical and optical properties of pectin-based films using response surface methodology. *J. Food Process Eng.* 3: 539-563.
- Mariniello, L., P. Di Pierro, C. Esposito, A. Sorrentino, P. Masi, and R. Porta. 2003. Preparation and mechanical properties of edible pectin-soy flour films obtained in the absence or presence of transglutaminase. *J. Biotechnol.* 102: 191-198.
- Martín-Belloso, O., R. C. Soliva-Fortuny, and E. A. Baldwin. 2005. Conservación mediante recubrimientos comestibles. *In: González-Aguilar, G. A., A. A. Gardea, and F. Cuamea-Narrarro (eds). Nuevas Tecnologías de Conservación de Productos Vegetales Frescos Cortados.* Logiprint Digital S.A. de C.V., México. pp: 341-356.
- Martínez, M. 1979. Catálogo de Nombres Vulgares y Científicos de Plantas Mexicanas. Fondo de Cultura Económica. México. 1247 p.
- McClements, D. J. 2004. Food emulsions: principles, practice and techniques. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 614 p.
- McHugh, T. H., R. Avena-Bustillos, and J. M. Krochta. 1993. Hydrophilic edible films: modified procedure for water vapor permeability and explanation of thickness effects. *J. Food Sci.* 58: 899-903.
- Methacanon, P., J. Kongsin, and C. Gamonpilas. 2014. Pomelo (*Citrus maxima*) pectin: effects of extraction parameters and its properties. *Food Hydrocolloid.* 35: 383-391.
- Morillon, V., F. Debeaufort, G. Blond, M. Capelle, and A. Voilley. 2002. Factors affecting the moisture permeability of lipid-based edible films: a review. *Crit. Rev. Food Sci.* 42: 67-89.
- Navarro-Tarazaga, M. L., A. Massa, and M. B. Pérez-Gago. 2011. Effect of beeswax content on hydroxypropyl methylcellulose-based edible film properties and postharvest quality of coated plums (Cv. Angeleno). *LWT-Food Sci. Technol.* 44: 2328-2334.
- Nieto-Ángel, R. 2007. Colección, conservación y caracterización del tejocote (*Crataegus* spp.). *In: Nieto-Ángel, R. (ed). Frutales Nativos, Un Recurso Fitogenético de México.* Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, México. pp: 25-107.
- Özcan, M., H. Haciseferoğullari, T. Marakoğlu, and D. Arslan. 2005. Hawthorn (*Crataegus* spp.) fruit: some physical and chemical properties. *J. Food Eng.* 69: 409-413.
- Pal, R. 2011. Rheology of simple and multiple emulsions. *COCIS* 16:41-60.
- Pérez-Espitia, P., W. X. Du, R. J. Avena-Bustillos, N. F. Ferreira-Soares, and T. H. McHugh. 2014. Edible films from pectin: physical-mechanical and antimicrobial properties - a review. *Food Hydrocolloid.* 35: 287-296.
- Rodrigues, D. C., C. A. Caceres, H. L. Ribeiro, R. F. A. Abreu, A. P. Cunha, and H. M. C. Azeredo. 2014. Influence of cassava starch and carnauba wax on physical properties of cashew tree gum-based films. *Food Hydrocolloid.* 38: 147-151.
- Ruiz-Ramos, J. O., J. P. Pérez-Orozco, J. G. Báez-González, E. Bósquez-Molina, C. Pérez-Alonso, and E. J. Vernon-Carter. 2006. Interrelationship between the viscoelastic properties and effective moisture diffusivity of emulsions with the water vapor permeability of edible films stabilized by mesquite gum-chitosan complexes. *Carbohydr. Polym.* 64: 355-363.
- Silva-Weiss, A., M. Ihl, P. J. A. Sobral, M. C. Gómez-Guillén, and V. Bifani. 2013. Natural additives in bioactive edible films and coatings: functionality and applications in foods. *Food Eng. Rev.* 5: 200-216.
- Singthong, J., W. C. Steve, S. Ningsanond, and G. H. Douglas. 2004. Structural characterization, degree of esterification and some gelling properties of Krueo Ma Noy (*Cissampelos pareira*) pectin. *Carbohydr. Polym.* 58: 391-400.
- Sothornvit, R., and N. Pitak. 2007. Oxygen permeability and mechanical properties of banana films. *Food Res. Int.* 40: 365-370.
- Thakur, B. R., R. K. Singh, A. K. Handa, and M. A. Rao. 1997. Chemistry and uses of pectin - a review. *Crit. Rev. Food Sci.* 37: 47-73.
- Ventura-Aguilar, R., M. T. Colinas-León, M. T. Martínez-Damián, and S. Valle-Guadarrama. 2011. Atmósferas modificadas, frigoconservación e inhibidores de oscurecimiento en poscosecha de *Pleurotus ostreatus*. *Rev. Mex. Cie. Agríc.* 2: 197-206.
- Villaescusa, R., and M. I. Gil. 2003. Quality improvement of *Pleurotus* mushrooms by modified atmosphere packaging and moisture absorbers. *Postharvest Biol. Tec.* 28: 169-179.
- Wang, N., C. Zhang, Y. Qi, and T. Li. 2007. Extraction and food chemical characterizations of haw pectins. *Sci. Technol. Food Ind.* 11: 87-92.
- Yapo, B. M. 2009. Pectin quantity, composition and physicochemical behaviour as influenced by the purification process. *Food Res. Int.* 42: 1197-1202.
- Yapo, B. M., C. Robert, I. Etienne, B. Wathelet, and M. Paquot. 2007. Effect of extraction conditions on the yield, purity and surface properties of sugar beet pectin extracts. *Food Chem.* 100: 1356-1364.