

# Biopolímeros de mucílago, pectina de nopalitos y quitosano, como recubrimientos en almacenamiento y vida de anaquel de frutos de aguacate 'Hass'

Mucilage, nopalitos pectin, and chitosan biopolymers for fruit avocado 'Hass' coating in storage and shelf life conditions

J. Esteban Bello-Lara<sup>1</sup>, Rosendo Balois-Morales<sup>2\*</sup>, M. Teresa Sumaya-Martínez<sup>2</sup>, Porfirio Juárez-López<sup>3</sup>, Edgar I. Jiménez-Ruíz<sup>2</sup>, Leticia M. Sánchez-Herrera<sup>2</sup>, Graciela G. López-Guzmán<sup>1</sup>, J. Diego García-Paredes<sup>1</sup>

## RESUMEN

Una alternativa para reducir la pérdida de frutos durante la postcosecha es el uso de biopolímeros o recubrimientos comestibles a base de fuentes no convencionales, como mucílago y pectina de nopalito. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de biopolímeros a base de mucílago, pectina de nopalito y quitosano en frutos de aguacate 'Hass'. Se evaluaron concentraciones de 0.5, 1.0 y 1.5% por cada uno de los biopolímeros y éstos se aplicaron por inmersión a frutos de aguacate en madurez fisiológica. Los frutos fueron almacenados durante 10 d a  $6 \pm 2$  °C más 10 d a  $22 \pm 2$  °C, para simular las condiciones de exportación. Las variables de respuesta fueron pérdida de masa (%), firmeza (kgf), sólidos solubles totales (°Brix) y color (L y h). Los frutos de aguacate 'Hass' recubiertos presentaron diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) en pérdida de masa, con 6.61% (mucílago) y 5.78% (pectina); firmeza con recubrimiento de pectina a 1.5% (3.04 kgf); color y SST en pectina 8.0 y 8.05 °Brix (1 y 1.5%, respectivamente). Con estos biopolímeros la vida de los frutos en anaquel fue de 20 días.

## PALABRAS CLAVE

polisacáridos, postcosecha, recubrimientos naturales

## ABSTRACT

An alternative method for reduce postharvest fruits loss is the use of biopolymers or edible coatings based on unconventional sources, such as the mucilage and nopalito pectin. Therefore, the objective of this research was to determine the effect of biopolymers based on nopalito mucilage and pectin, and chitosan in avocado 'Hass' fruits. 0.5, 1.0, and 1.5% concentration of each biopolymers were evaluated, and these were applied by immersion to avocado fruits at physiological maturity, which were stored for 10 d at  $6 \pm 2$  °C plus 10 d at  $22 \pm 2$  °C to simulate exportation conditions. The response variables were weight loss (%), firmness (kgf), total soluble solids (°Brix) and color (L, and h). Treatments showed statistical differences ( $p < 0.05$ ) in the following variables: weight loss of 6.61% (mucilage) and 5.78% (pectin), firmness coated pectin 1.5% (3.04 kgf), color and TSS pectin 8.0 and 8.05 °Brix (1 and 1.5% respectively), with these biopolymers shelf life of fruits was 20 d.

## KEYWORDS

polysaccharides, postharvest, natural coatings

<sup>1</sup> Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nayarit.

<sup>2</sup> Secretaría de Investigación y Posgrado, Universidad Autónoma de Nayarit.

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

\* Autor para correspondencia. Ciudad de la Cultura s/n. 63000 Tepic, Nayarit, México.  
Correo electrónico: balois\_uanayar@hotmail.com

## INTRODUCCIÓN

La producción del aguacate 'Hass' (*Persea americana* Mill., Lauraceae) en México supera los 1.3 millones de toneladas. El estado con mayor producción es Michoacán (86%), seguido de Jalisco y Nayarit. Para este último, el SIAP (2015) reporta una producción de 36,700 t, principalmente en el municipio de Xalisco (11,739.00 t). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura ha estimado que las pérdidas de frutas frescas y vegetales en postcosecha representan entre 5 y 25% de la producción en países desarrollados y entre 20 y 50% en países en vías de desarrollo, según el tipo de producto (Soliva y Martín, 2001).

Se han implementado diversas técnicas para coadyuvar a resolver el problema de pérdidas durante la postcosecha. De éstas, una alternativa que ha ganado aceptación en el mercado de las frutas y hortalizas es la aplicación de biopolímeros o recubrimientos comestibles. El efecto es una capa delgada de material formada sobre un alimento, cuyo propósito es reducir la migración de humedad, oxígeno, dióxido de carbono, aromas y lípidos (Krochta y De Mulder-Johnston, 1997). Su composición, basada en carbohidratos, proteínas y lípidos, permite que sean comestibles y fáciles de aplicar directamente en la superficie de los productos (Bosquez *et al.*, 2000; Valle-Guadarrama *et al.*, 2008).

Al utilizarse en alimentos hortofrutícolas como el aguacate, los recubrimientos comestibles pueden emplearse como barrera de gases y vapor de agua, lo que conlleva la restricción de la pérdida de humedad del fruto hacia el ambiente. Con ello es posible prolongar su vida de anaquel y disminuir las pérdidas postcosecha (Debeaufort *et al.*, 1998). Los biopolímeros que han sido extraídos de fuentes no convencionales, como frutos y hortalizas que tienen un alto contenido de polisacáridos, pueden ser materia prima para la extracción y elaboración de alimentos (Bello-Pérez *et al.*, 2000). Éste es el caso del nopal [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., Cactaceae], cuyos cladodios jóvenes (nopalitos) son ricos en polisacáridos del tipo estructural; es decir, macromoléculas constituidas por unidades de monosacáridos, los cuales han sido agrupados por sus características fisicoquímicas en mucílagos, pectinas, hemicelulosas y celulosas (Peña-Valdivia y Sánchez-Urdaneta, 2004).

El mucílago de nopal es considerado un hidrocoloide, sustancia formadora de matrices, característica necesaria para poder obtener un recubrimiento (Peña-Valdivia *et al.*, 2012). La alta concentración de mucílago encontrado en algunas

especies de nopal, la conformación polimérica y las propiedades reológicas (viscosidad) de este compuesto han despertado un gran interés en el área de los alimentos debido a que estas cactáceas tienen potencial para ser consideradas materia prima en la elaboración de recubrimientos comestibles o en la obtención de aditivos mejoradores de la textura en los alimentos (Del Valle *et al.*, 2005).

Las sustancias pécticas son hidrocoloides con una composición compleja y una función importante como constituyentes primarios de la pared celular (Lutz *et al.*, 2009). Varían en composición, propiedades fisicoquímicas y distribución, en dependencia de la región de la pared celular en donde se encuentren, del órgano del que formen parte y de la especie vegetal que constituyan. Estas sustancias se concentran principalmente en la lámina media y pared secundaria de la pared celular y funcionan como agente hidratante y material cementante de las redes de celulosas (García y Peña, 1995; Cárdenas *et al.*, 2008). Tienen diversas aplicaciones en muchos productos, incluidos los farmacéuticos y biomédicos. Una de las características más atractivas de la pectina es que se trata de un biopolímero no tóxico, biocompatible y biodegradable (Sriamornsak *et al.*, 2008).

La pectina, el mucílago y el quitosano pueden emplearse como material para el desarrollo de biopolímeros comestibles, ya que éstos pueden ayudar a mejorar la calidad y aumentar la vida de anaquel de diferentes productos hortofrutícolas. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de los biopolímeros comestibles a base de mucílago y pectina de nopalito y quitosano, aplicados a frutos de aguacate 'Hass', tanto en almacenamiento en frío como durante su vida posterior en anaquel.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materia prima

Esta investigación se realizó en el laboratorio de Análisis Especiales de la Unidad de Tecnología de Alimentos de la Universidad Autónoma de Nayarit, en México. Se usaron mucílagos y pectinas extraídos de nopalitos. Los frutos de aguacate fueron cosechados en 2012 durante el ciclo otoño-invierno. Fueron lavados en el laboratorio con agua corriente para eliminar impurezas y, posteriormente, desinfectados por inmersión en agua con una solución de hipoclorito de sodio a 1% (v/v). Se seleccionaron los frutos con base en características homogéneas (tamaño, color y ausencia de daños físicos).

### Extracción de biopolímeros

La extracción de mucilago y pectinas se realizó de acuerdo con la técnica utilizada por Peña-Valvidia y Sánchez-Urdaneta (2006): el mucilago se extrajo con agua destilada y la pectina con oxalato de amonio (0.5 %) en baño María; se centrifugó a 3,500 g durante 5 min; el sobrenadante se precipitó en alcohol frío en una relación 1:4 (v/v); se purificó por diálisis con agua destilada utilizando una membrana Membra-Cel® MD25 14 x 100 CLR, durante 72 h. Posteriormente, la muestra se congeló y se liofilizó para su almacenamiento.

### Preparación de soluciones de biopolímeros

Se prepararon dos soluciones acuosas a tres concentraciones diferentes (0.5, 1 y 1.5%) de cada uno de los biopolímeros (mucilago y pectina) de nopalito, más quitosano a 1% (extraído de camarón) y se generaron los tratamientos que se presentan en el cuadro 1.

**Cuadro 1. Biopolímeros evaluados en los frutos de aguacate 'Hass'.**

TRATAMIENTO	CONCENTRACIÓN (%)	BIOPOLÍMERO
1	0.0	Testigo
2	0.5	Mucilago
3	1.0	Mucilago
4	1.5	Mucilago
5	0.5	Pectina
6	1.0	Pectina
7	1.5	Pectina
8	1	Quitosano

### Aplicación de mucilago y pectina

Los biopolímeros se aplicaron por inmersión durante 1 min, con una suave agitación para garantizar la homogeneidad del recubrimiento en los frutos de aguacate 'Hass'. Los frutos recubiertos y el testigo se almacenaron a  $6 \pm 2$  °C por 10 d y, posteriormente, fueron trasladados a un laboratorio con temperatura ambiente de  $22 \pm 2$  °C durante 10 d más para simular condiciones de exportación. Las variables de respuesta fueron:

*Pérdida de masa.* Se determinó con una balanza digital (Snova ES-200®). El registro se realizó cada 5 d para cada

uno de los frutos. La diferencia de masa se expresó como porcentaje de pérdida con respecto a la masa inicial, mediante la fórmula:  $(mf - mi / mi) * 100$ ; donde: mf= masa final, mi= masa inicial

*Firmeza.* Se determinó en la pulpa del fruto con ayuda de un penetrómetro (Digital Fruits®, modelo GY-4), utilizando un puntal de 0.8 mm de diámetro. Los valores se expresaron en kgf.

*Sólidos solubles totales (SST).* Se determinaron con un refractómetro (Spectronics Instruments®, modelo 334610) mediante la metodología de la AOAC (2005). Los valores se expresaron en grados Brix.

*Color de fruto.* Se determinó en la pulpa (endocarpio) del fruto, con un colorímetro (Minolta®, modelo CR-300), que proporcionó los parámetros L\*, a\* y b\*, donde L\* es el brillo reflejado por el fruto, cuyos valores van desde 0 (negro) hasta 100 (blanco); los parámetros a\* y b\* fueron utilizados para calcular el ángulo hue (h) como lo indican García-Tejeda *et al.* (2011):  $h = \tan^{-1}(b^*/a^*)$ , cuando  $a^* > 0$  y  $b^* \geq 0$  o  $h = 180 + \tan^{-1}(b^*/a^*)$  cuando  $a^* < 0$ .

Todas las variables se midieron cada 5 d, desde el día inicial hasta el día 20 de almacenamiento postcosecha. El diseño experimental empleado fue completamente al azar y la unidad experimental fue un fruto, con cinco repeticiones. Para el análisis estadístico de los resultados se realizó un análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), mediante el paquete estadístico SAS (2000).

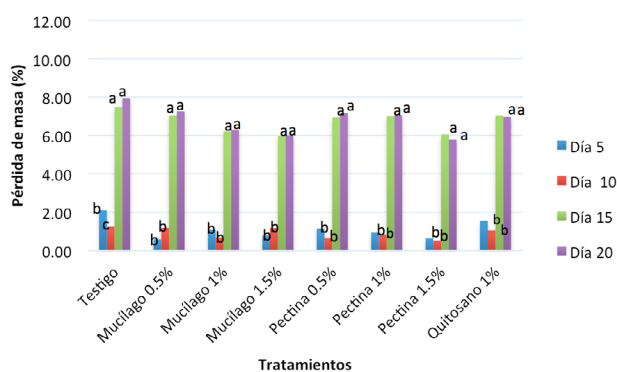
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Pérdida de masa

La pérdida de masa en la mayoría de los frutos y vegetales frescos es consecuencia directa de la disminución en su contenido de humedad (Kader, 1986). La velocidad con la que se pierde el agua en un fruto dependerá, en gran medida, del gradiente de presión entre el tejido, el fruto y la atmósfera que lo rodea, así como de la temperatura de almacenamiento (Estrada *et al.*, 2015). Durante los procesos fisiológicos de respiración y transpiración ocurre la máxima pérdida de peso (Baldwin *et al.*, 2005).

En la presente investigación se presentaron diferencias estadísticas como efecto de la aplicación de los biopolímeros comestibles en almacenamiento postcosecha de frutos de aguacate 'Hass' ( $p \leq 0.05$ ).

Se observaron cambios significativos después de almacenar los frutos a 6 °C: en el día 15, los frutos recubiertos de mucílago y pectina (1.5%) presentaron una pérdida de masa baja (5.98 y 6.06%, respectivamente); en el día 20, la pérdida de masa fue de 6.01% (mucílago) y 5.78% (pectina). Esto contrasta con lo sucedido en los frutos testigo, cuyas pérdidas de masa fueron de 7.49% (día 15) y 7.95% (día 20) (figura 1). Saucedo-Pompa *et al.* (2009) obtuvieron resultados similares al evaluar el comportamiento de una cubierta nutraceutica de cera de candelilla (*Euphorbia antisyohilitica* Zucc.) con ácido elágico y ácido gálico como aditivos antioxidantes, en la calidad de la vida de anaquel de frutos de aguacate almacenados durante cuatro semanas a 5 °C y posteriormente madurados a temperatura ambiente (25 °C) durante dos semanas. Estos autores obtuvieron el mejor resultado con la mezcla de ácido elágico, con una pérdida de masa entre 6 y 7.5%.



**Figura 1. Pérdida de peso (%) de frutos de aguacate 'Hass' recubiertos con biopolímeros, almacenados por 10 días a 6 ± 2 °C más 10 días a 22 ± 2 °C.**

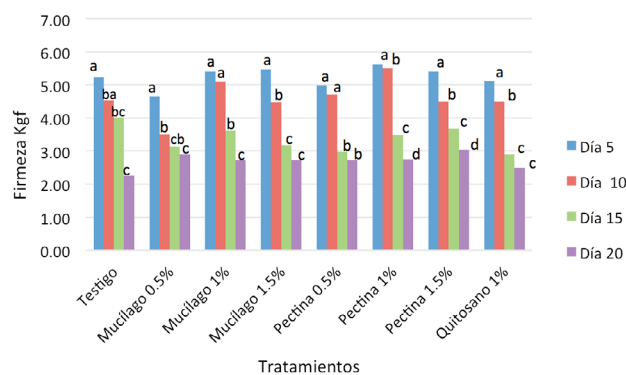
Maftoonazad y Ramaswamy (2005) reportaron disminuciones de 50% en la pérdida de humedad en frutos de aguacate recubiertos con películas comestibles a base de metilcelulosa, después de seis días de almacenamiento a 20 °C. Aguilar (2005) reportó una disminución de 12 y 22% de peso en frutos de aguacate recubiertos con almidón y glicerol, en condiciones de refrigeración a 6 °C.

### Firmeza

La firmeza de un fruto es de suma importancia porque disminuye con el tiempo. De ella depende la aceptabilidad del fruto, pues es uno de los parámetros que el consumidor toma en cuenta para la adquisición del fruto (Jha *et al.*, 2012). La pérdida de la firmeza,

además del cambio de color y del desarrollo de aromas volátiles, es la característica más común de la madurez de los frutos. Asimismo, es uno de los principales problemas que se presentan en éstos (Eccher *et al.*, 2015).

En la presente investigación, la firmeza de los frutos de aguacate disminuyó durante el almacenamiento poscosecha (figura 2). En el día 15 se observaron los cambios más significativos, cuando los frutos fueron transferidos a otra temperatura de almacenamiento (de estar en refrigeración a 6 ± 2 °C, pasaron a temperatura ambiente a 22 ± 2 °C). Los frutos recubiertos con pectina a 1.5% presentaron una mayor firmeza que los frutos testigo (3.04 y 2.26 kgf, respectivamente), la cual se mantuvo hasta el final del almacenamiento (figura 2). Este comportamiento puede atribuirse a la degradación de los componentes de la pared celular, principalmente pectinas, debido a la acción de enzimas específicas como la pectinesterasa y la poligalacturonasa (Sakurai y Nevins, 1997; Huber *et al.*, 2001). Estas modificaciones a nivel celular traen como consecuencia la pérdida de agua por parte de los tejidos vegetales, lo que también se ha señalado como un factor importante en los cambios de textura (Del Valle *et al.*, 2005). En investigaciones similares, Jeong *et al.* (2003) y Maftoonazad y Ramaswamy (2005) reportaron menor pérdida de firmeza en frutos de aguacate recubiertos con películas comestibles durante cinco semanas a tres diferentes temperaturas de almacenamiento.



**Figura 2. Firmeza (kgf) de frutos de aguacate 'Hass' recubiertos con biopolímeros, almacenados por 10 d a 6 ± 2 °C más 10 d a 22 ± 2 °C.**

### Sólidos solubles totales

Los componentes principales de la gran mayoría de frutos son los azúcares y la acidez, de manera que, conforme se incrementa el periodo de madurez de

los frutos, los niveles de azúcares totales aumentan (Sivakumar *et al.*, 2011). Los carbohidratos solubles en frutos son componentes mayoritarios de los sólidos solubles totales (SST), por lo cual son usados como criterio para establecer normas de maduración de algunas frutas; la calidad comestible de éstas suele mejorar en correlación con los sólidos solubles totales (Wills *et al.*, 1998). El porcentaje de SST puede representar el estado de madurez útil de un fruto (Torres *et al.*, 2013).

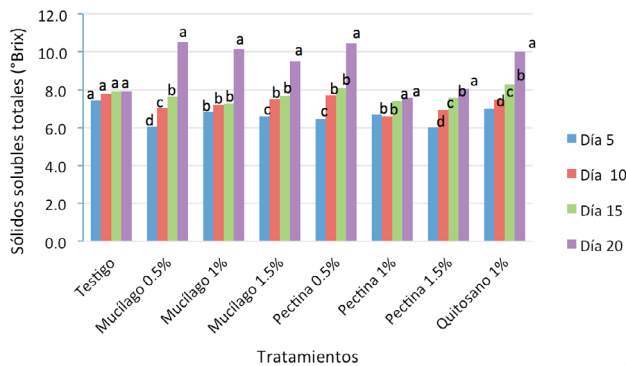


Figura 3. Sólidos solubles totales de frutos de aguacate 'Hass' recubiertos con biopolímeros, almacenados por 10 días a  $6 \pm 2^\circ\text{C}$  más 10 días a  $22 \pm 2^\circ\text{C}$ .

En la figura 3, se observa el comportamiento que presentaron los SST en los frutos con biopolímeros durante su almacenamiento poscosecha: los frutos con recubrimiento de pectina (1.0 y 1.5%) presentaron diferencia estadísticas ( $p < 0.05$ ) en relación con los frutos testigo, pues presentaron valores de 8.0 y 8.05 °Brix, respectivamente frente a los segundos, con 8.5 °Brix (figura 3). Los elevados valores de grados Brix se atribuyen a que, durante el proceso de maduración, en los frutos carnosos se generan cambios en la composición química, color, textura, tasa respiratoria y cambios químicos en los carbohidratos de la pared celular que, al degradarse, incrementan el nivel de azúcares y contribuyen a mejorar la palatabilidad del fruto (Brady, 1987; Kader, 1986). Los frutos donde se colocó el biopolímero de pectina a 1.0 y 1.5% retrasaron esos cambios durante la maduración del fruto. Al respecto, Barco *et al.* (2011), en frutos de tomates recubiertos con almidón de yuca a 3%, obtuvieron una concentración de 5.0 °Brix almacenados a  $18^\circ\text{C}$ , durante 20 d.

El menor índice de madurez, a través de una menor evolución de los sólidos solubles y un mantenimiento de la acidez total, se ha observado en

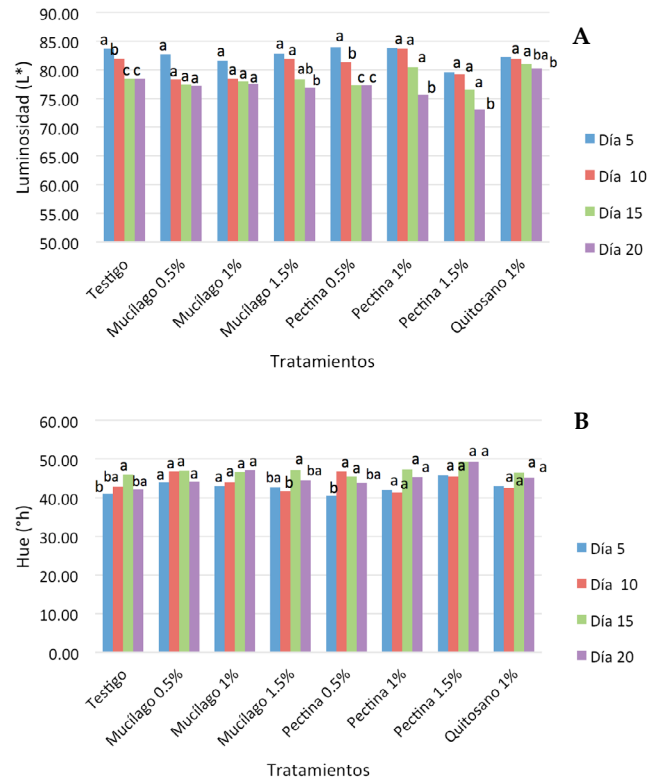


Figura 4. Color: (A) luminosidad ( $L^*$ ) y (B) matiz ( $h$ ) de la pulpa de frutos de aguacate 'Hass' con biopolímeros, almacenados por 10 días a  $6 \pm 2^\circ\text{C}$  más 10 días a  $22 \pm 2^\circ\text{C}$ .

frutos de aguacate recubiertos con cera de abeja o cera de carnauba (Feygenberg *et al.*, 2005).

### Color

El color en frutos y vegetales se debe a la degradación de la clorofila que descubre la presencia de los carotenoides, además de antocianinas y flavonoides (Sivakumar *et al.*, 2011). El análisis de los resultados mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los tratamientos. El recubrimiento con quitosano a 1.0% fue el que tuvo los resultados más favorables al evitar en mayor medida el cambio en la luminosidad ( $L^*=80.27$ ), con respecto a los demás tratamientos (figura 4 A). Sin embargo, en el día 20 a temperatura ambiente ( $22 \pm 2^\circ\text{C}$ ), la luminosidad de los frutos bajó su intensidad (figura 4 A); por lo tanto, este biopolímero mostró resultados favorables durante el almacenamiento poscosecha. En investigaciones similares, Ghaouth *et al.*, (1991) al evaluar subjetivamente la luminosidad de tomate con cubiertas comestibles, observaron que, después de 22 días de almacenamiento, los frutos control maduraron más rápido que los frutos con recubrimiento, de acuerdo

con la intensidad de color rojo que presentaron los frutos control.

El ángulo matiz (h) es indicativo del color (García-Tejeda *et al.*, 2011). En esta investigación, con los valores Hue obtenidos, podemos decir que las pulpas de los frutos de aguacate 'Hass' se mantuvieron de color verde desde el inicio hasta el final del almacenamiento postcosecha (figura 4 B) y que los recubrimientos no influyeron negativamente en esta característica. Entre tratamientos no se observaron diferencias estadísticas significativas (figura 4 B), representándonos un color más verde que amarillo. Los cambios mínimos del color verde observado en los frutos tratados con un biopolímero pueden deberse a la atmósfera modificada interna creada en el fruto, con altos niveles de CO<sub>2</sub> y bajos de O<sub>2</sub>, lo que posiblemente retrasó los procesos de maduración (Aguilar *et al.*, 2005). La preservación de los parámetros del color como resultado del recubrimiento con películas comestibles también ha sido reportada en fresa (López-Mata *et al.*, 2012; Del valle *et al.*, 2005; Diab *et al.*, 2001), tomate (Parky Zhao, 2006), coliflor y champiñones (Ayrancy y Tunc, 2003).

## CONCLUSIONES

El biopolímero de pectina (1.5%) extraído de nopalito resultó ser el más efectivo al aplicarse en frutos de aguacate 'Hass', ya que éstos presentaron menor pérdida de peso (5.78%), mayor firmeza (3.04 kgf) y mayor contenido de sólidos solubles totales (8.03 °Brix). Los frutos de aguacate 'Hass' con el polímero de pectina (1.5%) de nopalito tuvieron una vida de anaquel de 20 días. La aplicación de los biopolímeros tiende a conservar por más tiempo el color de la pulpa de los frutos de aguacate 'Hass' conservando el color verde, característico de este fruto.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. Porfirio Gutiérrez Martínez, profesor-investigador del Instituto Tecnológico de Tepic, por haber donado el quitosano que se empleó en esta investigación.

## LITERATURA CITADA

- Association of Official Analytical Chemist (AOAC). 2005. Official methods of analysis, (8th ed.). Gaithersburg, Maryland, USA.
- Aguilar, M. M. 2005. Propiedades físicas y mecánicas de películas biodegradables y su empleo en el recubrimiento de frutos de aguacate. Tesis para obtener el grado de maestría. Instituto Politécnico Nacional. Mexico, DF.
- Ayrancy, E., S. Tunc. 2003. A method for the measurement of the oxygen permeability and the development of edible films to reduce the rate of oxidative reactions in fresh foods. *Food Chemistry* 80: 423-431.
- Baldwin, E. A., M. O. Nisperos-Carriedo, R. A. Baker. 1995. Edible coatings for lightly processed fruits and vegetables. *HortScience* 30: 35-38.
- Barco, H. P., D. A. Burbano, S. S. Mosquera, C. H. Villada, P. D. Navia. 2011. Efecto del recubrimiento a base de almidón de yuca modificado sobre la maduración del tomate. *Revista Lasallista de Investigación* 8 (2): 96-103.
- Brady, C. J. 1987. Fruit Ripening. *Annual Review of Plant Physiology* 38:155-178.
- Bello-Pérez, L. A., E. Agama-Acevedo, S. G. Sayago-Ayerdi, E. Moreno-Damián, J. D. C. Figueroa. 2000. Some structural, physicochemical and functional studies of banana starches isolated from two varieties growing in Guerrero, Mexico. *Starch/Stärke* 52: 68-73.
- Bosquez, E., E. J. Vernon, L. Pérez, I. Guerrero. 2000. Películas y cubiertas comestibles para la conservación en fresco de frutas y hortalizas. *Industria Alimentaria* 22: 14-36.
- Cárdenas, A., F. M. Goycoolea, M. Rinaudo. 2008. On the gelling behavior of 'nopal' (*Opuntia ficus-indica*) low methoxil pectin. *Carbohydrate Polymers* 73: 212-222.
- Debeaufort, F., J. A. Quezada-Gallo, A. Voilley. 1998. Edible films and coatings: tomorrow's packagings: a review. *Critical Rev Food Sci* 38: 299-313.
- Del Valle, V., P. Hernández-Muñoz, A. Guarda, M. J. Galotto. 2005. Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its applications to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. *Food Chemistry* 91: 751-756.
- Diab T., G. C. Biliaderis, D. Geraspoulos, E. Sfakiotakis. 2001. Physicochemical properties and applications of pullulan edible films and coatings in fruit preservation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 81: 998-1000.
- Eccher, Z. P., M. Vanoli, A. Rizzolo, M. Grassi, A. P. Meirelles, L. Spinelli, A. Torricelli. 2015. Optical properties, ethylene production and softening in mango fruit. *Postharvest Biology and Technology* 101: 58-65.
- Estrada, M. M. E., R. F. Padilla, C. C. J. Márquez. 2015. Efecto de recubrimientos protectores sobre la calidad del mango (*Mangifera indica* L.) en poscosecha. *Revista Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Actualidad y Divulgación Científica* 18: 181-188.
- Feygenberg, O., V. Hershkovitz, R. Ben-Arie, S. Jacob, E. Pesis, T. Nikitenko. 2005. Postharvest use of organic coating for maintaining bioorganic avocado and mango quality. *Acta Horticulturae* 682: 507-512.
- García, E. R., C. B. Peña. 1995. La pared celular. Componente fundamental de las células vegetales. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo. 96 p.
- García-Tejeda, Y. V., P. B. Zamudio-Flores, L. A. Bello-Pérez, C. A. Romero-Bastida, J. Solorza-Feria. 2011. Oxidación del almidón nativo de plátano para su uso potencia en la fabricación de materiales de empaque biodegradables: Caracterización física, química, térmica y morfológica. *Revista Iberoamericana de Polímeros* 12 (3): 125-135.
- Ghaouth, A., J. Azul, R. Ponnampalam, M. Boulet. 1991. Chitosan coating effect on storability and quality of fresh strawberry. *Journal of Food Science* 56: 1618-1620.
- Huber, D. J., Y. Kaakurt, J. Jeong. 2001. Pectin degradation in ripening and wounded fruits. *Rev Bras Fisiol Veg* 13: 224-241.
- Jeong, J., D. J. Huber, S. A. Sargent. 2003. Delay of avocado (*Persea americana*) fruit ripening by 1-methylcyclopropane and wax treatments. *Postharvest Biology and Technology* 28: 247-257.
- Jha, S. N., P. Jaiswal, K. Narsaiah, M. Gupta, R. Bhardwaj, A. K. Singh. 2012. Non-destructive prediction of sweetness of intact mango using near infrared spectroscopy. *Scientia Horticulturae* 138: 171-175.
- Kader, A. A. 1986. Biochemical and Physiological Basis for Effects of Controlled and Modified Atmospheres on Fruits and Vegetables. *Food Technol* 40: 99-104.
- Krochta, J. M., C. De Mulder-Johnston. 1997. Edible and Biodegradable polymer films: challenges and opportunities. *Food Technology* 51: 61-74.
- López-Mata, M.A., S. R. Ruíz-Cruz, C. Navarro-Preciado, J. de J. Ornelas-Paz, M. I. Estrada-Alvarado, L. E. Gasos-Ortega, J. Rodrigo-García. 2012. Efecto de recubrimientos comestibles de quitosano en la reducción microbiana y conservación de la calidad de fresas. *Revista Biotecnia* 14: 33-43.
- Lutz, R., A. Aserin, L. Wicker, N. Garti. 2009. Structure and physical properties of pectins with block-wise distribution of carboxylic acid groups. *Food Hydrocolloids* 23: 786-794.
- Maftoonazad, N., H. S. Ramaswamy. 2005. Postharvest shelf-life extension of avocados using methyl cellulose-based coating. *LWT- Food Science and Technology* 38: 617-624.
- Park, S., Y. Zhao. 2006. Development and Characterizations of edible films from cranberry pomace extracts. *Journal of Food Engineering and Physical Properties* 71: E95-E101.
- Peña-Valdivia, C. B., A. B. Sánchez-Urdaneta. 2004. Polisacáridos de nopalito y tuna. pp: 22-43. En: *Memorias del XI Congreso Nacional y VIII Congreso Internacional sobre el conocimiento y aprovechamiento del nopal y otras cactáceas de valor económico*. Universidad Autónoma Chapingo.

- Peña-Valdivia, C. B., A. B. Sánchez-Urdaneta. 2006. Nopalito and cactus pear (*Opuntia* spp) polysaccharides: mucilage and pectin. *Acta Horticulturae* 728: 241-247.
- Peña-Valdivia, C. B., C. Trejo, V. B. Arroyo-Peña, A. B. Sánchez-Urdaneta, R. Balois-Morales. 2012. Diversity of unaviable polysaccharides and dietary fiber in domesticated and cactus pear fruit (*Opuntia* spp). *Chemistry and Biodiversity* 9: 1599-1610.
- Saucedo-Pompa, S., R. Rojas-Molina, A. F. Aguilera-Carbo, A. Saenz-Galindo, H. de la Garza, D. Jasso-Cantú, C. R. Aguilar. 2009. Edible film based on candelilla wax to improve the shelf life and quality on avocado. *Food Research International* 42 (4): 511-515.
- SAS Institute Inc. SYSTEM 2000® software Product support Manual, Version 1, First Edition, Cary, NC: SAS Institute Inc., 2000.
- Sakurai, N., D. J. Nevins. 1997. Relationship between fruit softening and wall polysaccharides in avocado (*Persea Americana* Mill) Mesocarp tissues. *Plant Cell Physiology* 38: 603-610.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2015. Disponible en <http://www.gob.mx/siap/> (consultado: 15 de agosto de 2016).
- Sivakumar, D., Y. Jiang, E. M. Yahia. 2011. Maintaining mango (*Mangifera indica* L.) fruit quality during the export chain. *Food Research International* 44: 1254-1263.
- Soliva, R., O. Martín. 2001. Envasado de alimentos mediante recubrimientos comestibles. *Alimentaria*, septiembre. Madrid, España. p.29-37.
- Sriamornsak, P., N. Wattanakorn, J. Nunthanid, S. Puttipitkhachorn. 2008. Mucoadhesion of pectin as evidence by wettability and chain interpenetration. *Carbohydrate Polymers* 74: 458-467.
- Torres, R., E. J. Montes, O. A. Pérez, R. D. Andrade. 2013. Relación del color y del estado de madurez con las propiedades fisicoquímicas de frutas tropicales. *Información Tecnológica* 24: 51-56.
- Wills, R., B. Mcglasson, D. Graham, D. C. Joyce. 1998. *Postharvest: an introduction to the physiology & handling of vegetables & ornamentals*. 4th ed. Wallingford. New South Wales University Press. 262 p.
- Valle-Guadarrama, S., O. López-Rivera, M. Reyes-Vigil, J. Castillo-Merino, A. Santos-Moreno. 2008. Recubrimientos comestibles basados en goma arábica y carboximetilcelulosa para conservar frutas en atmósferas modificadas. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14: 235-241.