

## ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE BIOFILMS A BASE DE POLILLA DE LA CERA Y NOPAL

### [PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF BIOFILMS BASED ON WAX MOTH AND NOPAL]

Daniela Méndez-Valencia<sup>1</sup>, Juan Ángel Ramos-Ixta<sup>1</sup>, Yolanda Ruíz-Suárez<sup>1§</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico Superior de Los Reyes. Departamento de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable. Los Reyes de Salgado, Michoacán, México.

§Autor para correspondencia: (yolanda.rs@losreyes.tecnm.mx).

#### RESUMEN

La vida de anaquel de los vegetales es el tiempo en que estos productos se encuentran en condiciones aptas para ser consumidos; algunos de los factores que pueden afectar esta característica son el manejo agronómico del cultivo, plagas y enfermedades, técnicas de cosecha y postcosecha, condiciones sanitarias, clima, embalaje, transporte y prácticas inadecuadas de manejo por parte de los consumidores. Por ello, es necesario desarrollar nuevas técnicas que permitan mantener en buenas condiciones los productos vegetales. El objetivo de este trabajo fue elaborar y caracterizar biofilms con harina de polilla de la cera (*Galleria mellonella*) y mucílago de nopal, poniendo a prueba su función como alargadores de vida de anaquel en frutos de jitomate (*Solanum lycopersicum*). Se formularon cuatro tratamientos y un testigo, que consistieron en mezclar distintas dosificaciones de mucílago de nopal y harina de polilla de la cera, la mayoría de los tratamientos mostraron resultados favorables en las variables medidas (Firmeza, °Brix, acidez titulable, pérdida de peso y presencia de patologías) respecto a los frutos testigo. El tratamiento formulado con 100% mucílago de nopal (T1), tuvo éxito en casi todas las variables medidas a excepción de °Brix y peso, dando un indicio de los beneficios que puede tener la utilización de este mucílago en la composición del biofilm. Además, los recubrimientos que contenían harina del gusano de la cera en su formulación, se mostraron efectivos manteniendo la firmeza (T4), disminuyendo la pérdida de peso por transpiración (T3) y reduciendo la presencia de patologías en los frutos evaluados (T2).

**Palabras clave:** Frutos, harina, mucílago, postcosecha, vida de anaquel.

#### ABSTRACT

The postharvest shelf-life of vegetables is the time in which the products have suitable conditions to be consumed; some of the factors that can affect this feature are the agronomic management of the crop, pests and diseases, harvesting and postharvest techniques, sanitary conditions, climate, packaging, transportation and improper practices handling by consumers. For this reason, it is necessary to develop new techniques that allow fruits and vegetables, to reach the family table in good conditions. The objective of this work was to elaborate and characterize biofilms based on wax moth flour (*Galleria mellonella*) and nopal mucilage, testing their function as a shelf-life extenders in tomato fruits (*Solanum lycopersicum*). Four treatments and one control were formulated, which consisted of different dosages of nopal mucilage and wax moth flour, most of the treatments showed favorable results in the measured variables (Firmness, °Brix, titratable acidity, loss of weight and presence of pathologies) with respect to the control fruits. The treatment formulated with 100% nopal mucilage (T1) was successful in almost all the variables measured except for °Brix and weight, giving an indication of the benefits that the use of nopal mucilage may have in the composition of biofilms. In addition, the coatings containing wax moth flour in their formulation were shown to be effective in maintaining the firmness of the fruits (T4), reducing weight loss due to transpiration (T3) and the presence of pathologies in the evaluated fruits (T2).

**Index words:** Fruits, flour, mucilage, postharvest, shelf life.

## INTRODUCCIÓN

Alrededor de un tercio de los alimentos producidos a nivel mundial se pierden o se desperdician, lo que implica un mal uso de la mano de obra, el agua, la energía, la tierra y otros recursos naturales que se utilizaron para producirlos (FAO, 2019). La pérdida de alimentos puede suceder en cualquier parte de la cadena de suministro entre el productor y el mercado. Esto debido a la corta vida de anaquel de los frutos lo cual puede ser el resultado de problemas previos a la cosecha, como infestaciones de plagas, o problemas en la recolección, manejo, almacenamiento, empaquetado o transporte, en otras palabras, malas prácticas agrícolas y de manufactura (Carrillo-Inungaray y Reyes-Munguía, 2013).

La vida de anaquel de un producto alimenticio se entiende como el tiempo transcurrido desde la fecha de producción hasta el momento durante el cual éste se mantiene con las condiciones aceptables para su consumo. Durante el almacenamiento y distribución de los alimentos, estos son expuestos a una gran variedad de condiciones ambientales. Factores como temperatura, humedad, oxígeno y luz pueden desencadenar varias reacciones que conducen a la degradación de dicho alimento. Como consecuencia de estas reacciones pueden surgir problemas que los hacen no aptos para los consumidores (Giraldo-Gómez, 1999).

Una alternativa para conservar los frutos por un mayor tiempo es el empleo de recubrimientos comestibles o biofilms, los cuales son elaborados con diversas biomoléculas poliméricas (ceras, polisacáridos, proteínas y alginatos, entre otras) (Vázquez-Briones y Guerrero-Beltrán, 2013). Los recubrimientos comestibles prometen aumentar la vida de anaquel de las frutas y verduras, formando una barrera del movimiento de algunos gases como el O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> y el vapor de agua, este efecto es parecido al de una atmósfera controlada o modificada, disminuyendo la tasa de respiración y transpiración y por ende retrasando la senescencia del fruto (Salinas-Salazar, 2014).

Actualmente existen muchos grupos de investigación enfocados a estudiar la viabilidad de distintos materiales naturales como recubrimientos comestibles. Los biofilms a base de proteínas suelen ser de procedencia animal como las gelatinas y las proteínas de suero de leche, o de origen vegetal como las proteínas de soja y de maíz. Por ejemplo, se han realizado distintos ensayos en recubrimientos comestibles a base de proteínas de suero en manzana cortada. Aunque los lípidos no forman películas, siempre están presentes en los recubrimientos de proteínas y polisacáridos para maximizar su resistencia al vapor de agua y su flexibilidad. Por lo general estas son ceras (carnauba, abeja), ácidos grasos y monoglicéridos (glicerol) (De Ancos-Begoña *et al.*, 2015). Salinas-Salazar (2014) formuló películas comestibles a base de mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*), con gnetina y cera de abeja que fueron probadas en ciruela (*Ciprus Salicina* L.), con base en los resultados obtenidos afirma que la cera de abeja mejoró considerablemente la apariencia física y firmeza del fruto.

La polilla de la cera (*Galleria mellonella*) es un lepidóptero recientemente considerado una opción dentro de la nutrición humana debido a su contenido nutrimental principalmente proteico (Ruiz, Aguirre y Martínez, 2012); además de que tiene un alto contenido de ácidos grasos en su composición. Por otra parte, el mucílago de nopal por su amplio contenido nutrimental (Flores- Mendiola, 2012); y su adherencia que permite formar una fina capa alrededor del fruto, además de sus propiedades antisépticas hacen de él un ingrediente clave para el biofilm. El objetivo de esta investigación fue elaborar y caracterizar biofilms a base de polilla de la cera (*G. mellonella*) y nopal (*O. ficus-indica*) para prolongar la vida de anaquel de los frutos. Se elaboraron cuatro biofilms con distintas dosificaciones de mucílago de nopal y harina de polilla de la cera, para analizar su efecto en la vida de anaquel de frutos de jitomate midiendo variables como firmeza, °Brix, acidez titulable, pérdida de peso y presencia de patologías.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Obtención del material

Los nopales fueron adquiridos del mercado municipal de Los Reyes de Salgado Michoacán, las larvas de *G. mellonella* fueron adquiridas de la casa comercial PETMMAL SA de CV.

### Preparación de la harina de *G. mellonella*

Para la preparación de la harina de *G. mellonella* se empleó la técnica utilizada y descrita por Vásquez-Avila (2016). Se pesaron 200 g de larvas, las cuales se colocaron en frasco de vidrio y se introdujeron en un refrigerador para congelarlas por ocho h. Posteriormente se retiró el frasco del refrigerador y se dejaron una h a temperatura ambiente, se pesaron las larvas y se colocaron en una charola de metal que fue introducida en un horno de secado, marca RIOSSA, modelo H-33, en donde fueron sometidas a una temperatura de 60 °C durante 30 h para deshidratarlas; al terminar el proceso de deshidratación, se pesó la muestra en una balanza granataria y se determinó el porcentaje de materia seca, la muestra se colocó en una licuadora para así obtener una harina fina.

### Obtención del mucílago de nopal

Para la extracción del mucílago de nopal se siguió la metodología propuesta por Orozco-Silvas (2017); se seleccionaron nopales tiernos, frescos y sin ningún tipo de daño fisiológico aparente, se desinfectaron las piezas enteras por inmersión en solución de hipoclorito de sodio a 100 ppm durante 10 minutos, después se cortaron los nopales en trozos pequeños con ayuda de una tabla y un bisturí o cuchillo previamente desinfectados con hipoclorito de sodio, posteriormente a 500 g de nopal en trozos se les agregó una solución de CaCl<sub>2</sub> al 20% y se dejaron reposar por 24 h, finalmente con ayuda de un colador esterilizado se separó el mucílago de los trozos de verdura.

### Elaboración de los biofilms

Se mezclaron distintas dosis de cada ingrediente para obtener las características deseadas (Cuadro 1). Cada mezcla compuesta de diferentes cantidades de mucílago de nopal y la harina de *G. mellonella* se colocó en una licuadora marca Osterizer de ocho velocidades, modelo 66300, 66300-13 y se licuó durante 1 min para homogenizar, posteriormente con ayuda de colador que evitara el paso de las pequeñas masas compactas en el biofilm, se vertieron en vasos de precipitados y se dejaron reposar por unos min.

**Cuadro 1.** Composición de los diferentes tratamientos para la elaboración de biofilms.

Tratamientos	Mucílago de nopal	Harina de larva
Testigo	0%	0%
T1	100%	0%
T2	95%	5%
T3	90%	10%
T4	85%	15%

Fuente: Elaboración propia.

### Caracterización de los biofilms

Una vez obtenidos los biofilms de cada tratamiento se procedió a medir la transmitancia a 750 nm en un espectrómetro marca VELAB, colocando 1 ml de cada biofilm en la celda correspondiente para obtener la

transmitancia, una vez obtenido ese resultado se vertió el contenido de las celdas en una caja de Petri de manera que el biofilm cubriera todo el fondo de la caja, las muestras se almacenaron a temperatura ambiente (25 °C) para observar su apariencia con el paso de los días.

### **Aplicación de los biofilms en frutos de jitomate**

Se emplearon frutos de jitomate con madurez fisiológica y tomando en cuenta la homogeneidad aparente en cuanto a color, tamaño y forma del fruto. Previo a la aplicación del biofilm los frutos pasaron por un proceso de lavado y secado. La aplicación del biofilm se realizó de forma manual utilizando una brocha, aplicando el biofilm homogéneamente en todo el fruto. Se emplearon 15 frutos por cada diferente formulación de los biofilms (Cuadro 1). Después de la aplicación de los biofilms los frutos se mantuvieron en las mismas condiciones ambientales (luz y humedad), a una temperatura de 25 °C.

### **Diseño experimental**

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, se emplearon cuatro tratamientos y un testigo (Cuadro 1). Cada una de las formulaciones fue caracterizada en 15 frutos. Los datos recabados se sometieron a un análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Fisher al 95%, utilizando el software estadístico Minitab, 2018.

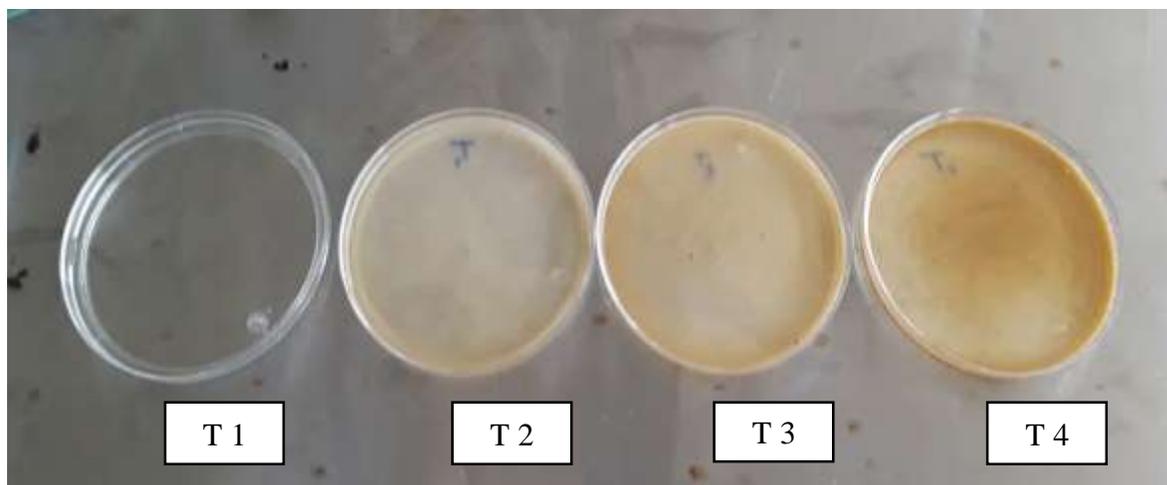
### **Medición de variables y toma de datos**

Las variables medidas fueron: 1. Pérdida de peso de los frutos. Se tomó el peso de cada fruto utilizando una balanza analítica marca VELABTM BALANCES modelo VE-300. Este proceso se llevó a cabo cada tercer día. 2. Firmeza. La firmeza del fruto se midió con un penetrómetro, en este caso se utilizó el modelo GY-3 con capacidad de 12 y 24 kg cm<sup>-2</sup>. Para llevar a cabo esta medición se cortó la capa principal del jitomate para tener una penetración de mejor calidad y por ende una mejor medición, se usó la aguja de 12 mm debido a la consistencia suave del jitomate. 3. °Brix. Para la medición de °Brix se utilizó un refractómetro modelo SCM-1000, se colocaron de 2 a 3 gotas de jugo del fruto sobre el prisma del instrumento y después se presionó el botón “comenzar”, unos segundos después se pudo observar en la pantalla la cantidad de °Brix contenidos en la muestra. 4. Acidez titulable. Se tomó una alícuota de 9 ml de agua y 1 ml de jugo y se adicionaron tres gotas de fenolftaleína para su titulación con hidróxido sodio (NaOH) 0.1 N. Con ayuda de la siguiente fórmula para obtener el porcentaje de acidez: La acidez se expresa como  $AT(\%) = \frac{V \text{ NaOH (mL)} \times N \text{ NaOH (meq/mL)} \times \text{meq de ácido cítrico (0.064 g/meq volumen de jugo (ml)} \times 100}{\text{volumen de jugo (ml)}}$ . 5. Presencia de patologías. Se determinó observando las características de cada fruto por separado, describiendo cada patología que se detectó y la fecha en la que fue encontrada.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Caracterización de los biofilms**

Se realizó la técnica de vaciado en placa para observar el color y apariencia general de los recubrimientos a simple vista, el T1 presentó la transparencia más alta (Figura 1). Para una mayor precisión fue medida la transmitancia de cada uno de los recubrimientos, los resultados se muestran en el Cuadro 2. Aunque el T1 se apreciaba totalmente transparente, su transmitancia fue del 77.8, es decir, permite el paso de la luz en un 77.8%. A pesar de ello, una vez aplicado a los frutos su apariencia no se vio afectada, siendo esta una característica favorable para este biofilm. Por otro lado, las formulaciones que contenían harina de larva de la cera presentaron coloraciones (Figura 1), y un muy bajo nivel de transmitancia (Cuadro 2). A pesar de ello, una vez aplicadas sobre los frutos, su apariencia no se alteró.



**Figura 3.** Técnica de vaciado en placa.

**Cuadro 2.** Transmitancia correspondiente al biofilm de cada tratamiento.

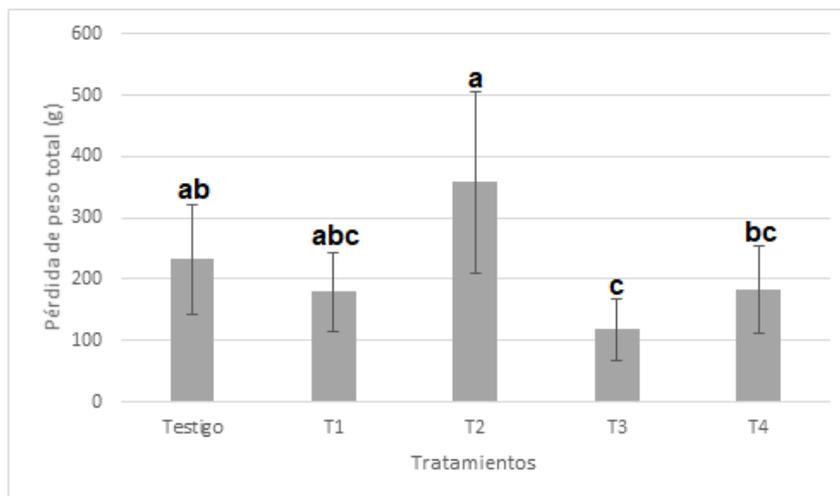
Tratamiento	Transmitancia $W m^{-2} °C$
T1	77.8
T2	0.21
T3	0.08
T4	0.07

Fuente: Elaboración propia.

### Pérdida de peso en los frutos

El peso de todos los frutos fue disminuyendo a lo largo del experimento debido a la deshidratación que sufren por causa de la transpiración. Según Muñoz-Monsalve (2020), la transpiración es uno de los factores más importantes que determinan el deterioro y la vida útil de las frutas y verduras. El efecto de los recubrimientos en la disminución de las pérdidas de peso puede deberse a la reducción del intercambio gaseoso y vapor de agua entre la fruta y la atmósfera circundante (Molina *et al.*, 2019). En la figura 2 se muestra que la pérdida de peso total después de 15 días de haber aplicado los tratamientos. Los frutos que perdieron menos peso en comparación con los frutos testigo fueron los pertenecientes a los tratamientos T1, T3 y T4, siendo la diferencia estadísticamente significativa sólo en el caso del T3, es decir, los frutos que fueron recubiertos con la formulación de 90% mucílago de nopal y 10% harina de larva, lo que sugiere que este tratamiento contribuye a evitar la pérdida de peso de los frutos.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por (Molina *et al.*, 2019), donde un recubrimiento obtenido a partir de la mezcla con 94% mucílago de nopal y 6% de pectina comercial con adición de 0.5% (v/v) de aceite esencial de romero, resultó efectivo para disminuir la pérdida de peso en naranjas. Así mismo, Pineda-Mendoza *et al.* (2019) reportaron una disminución significativa en la pérdida de peso de jitomates recubiertos con mucílago de nopal al final del periodo de almacenamiento con respecto al lote testigo, este resultado se atribuyó a la permeabilidad de los polisacáridos (pectina y gomas) presentes en el nopal.



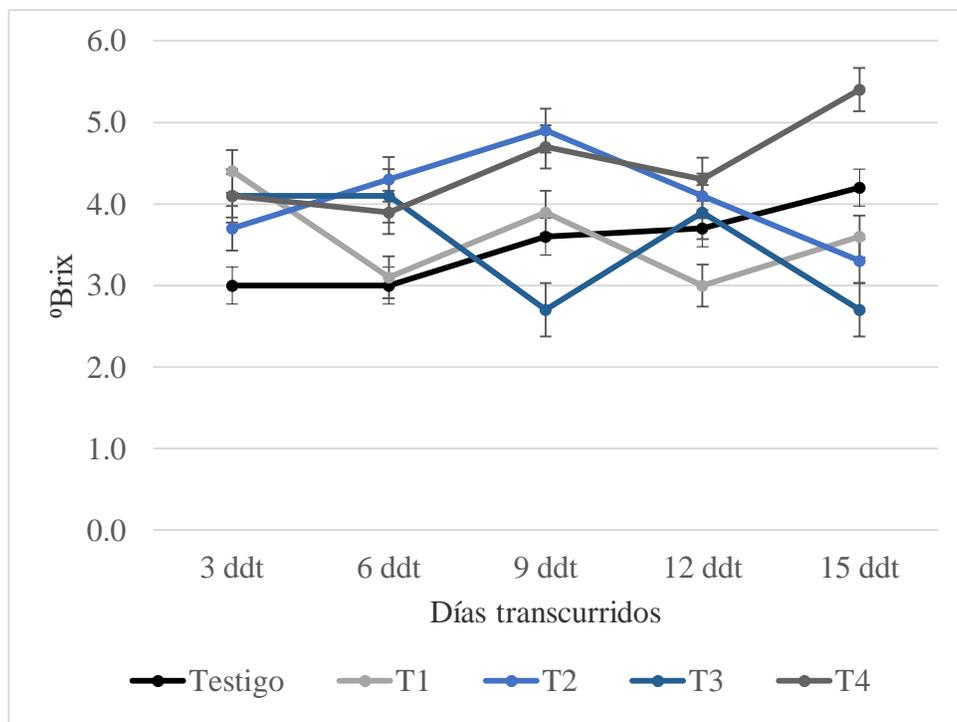
**Figura 2.** Pérdida de peso total de cada tratamiento. Se grafican las medias y desviaciones estándar. Las barras que no comparten una letra son estadísticamente diferentes (Fisher, 0.05).

### Sólidos solubles totales

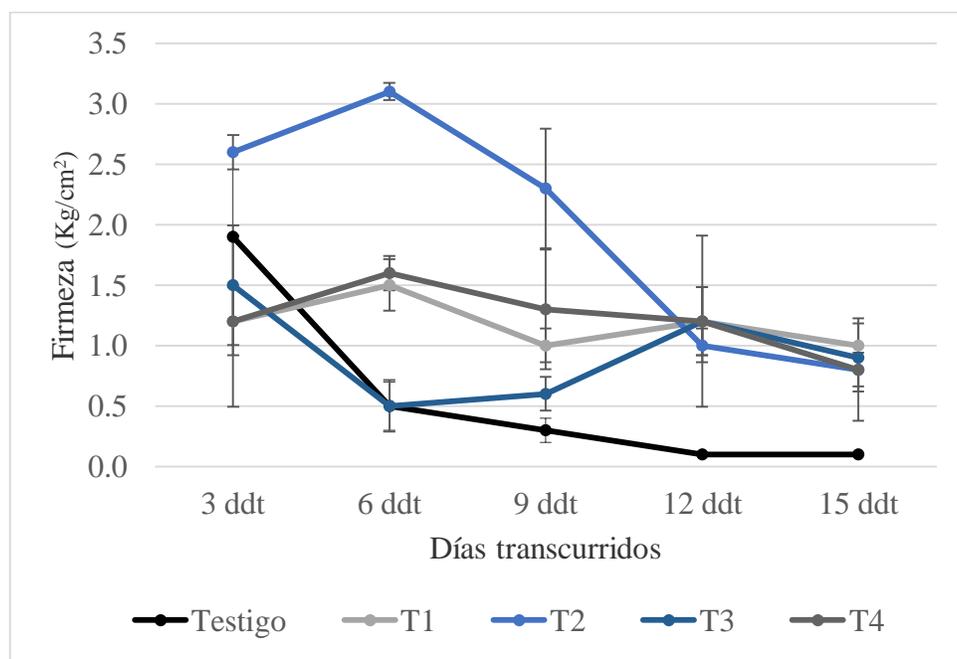
Los sólidos solubles totales, medidos en °Brix, aumentan a medida que avanza el proceso de maduración de los frutos, debido a la degradación de polisacáridos (Fischer y Martínez, 1999); siendo esta variable uno de los principales índices de calidad de las frutas (Solórzano *et al.*, 2015). En la figura 3, se aprecia el comportamiento de los °Brix a lo largo de los días que duró el experimento. En el caso de los frutos testigo se muestra un incremento a partir de los seis días después de haber iniciado la corrida experimental, de manera muy similar a lo que ocurre en el caso de los frutos que recibieron el tratamiento T4. Por otro lado, se aprecia que los tratamientos T1, T2 y T3, modificaron de alguna manera el comportamiento de los sólidos solubles totales en los frutos, estos presentaron un decrecimiento en la cantidad de °Brix en diferentes momentos del estudio, lo que puede indicar que gran parte del azúcar se está utilizando en el proceso de respiración (Fischer y Martínez, 1999).

### Firmeza

En la figura 4 se muestra que el comportamiento de la firmeza de los frutos de cada tratamiento, los frutos testigo tuvieron un descenso muy marcado en su firmeza desde los 3 ddt (días después de la aplicación de tratamientos), a partir de los 6 ddt la firmeza continuó disminuyendo más lentamente. En los frutos pertenecientes a los tratamientos T1, T2, T3 y T4 la firmeza al final del experimento fue muy parecida, siendo los frutos que recibieron el tratamiento 1 (T1) los que perdieron menos firmeza. La firmeza está relacionada con la calidad de los frutos y se va perdiendo con el paso de los días debido a la hidrólisis de componentes de la pared celular, degradación del almidón, pérdida de azúcares y de turgencia que se manifiesta en debilitamiento de las paredes celulares y posterior ablandamiento causado por la liberación de etileno y la acción enzimática (Delgado y Porras, 2011). Estos resultados sugieren que los recubrimientos aplicados a los frutos contribuyeron a mantener la firmeza de los mismos; resultados similares fueron obtenidos por Pineda-Mendoza *et al.* (2019); donde los recubrimientos de mucílago de nopal aplicados a frutos de jitomate presentaron una alta retención de la firmeza del tejido de los frutos, lo cual fue atribuido a la restricción en las actividades metabólicas, asociadas con enzimas especializadas en la degradación de pared celular.



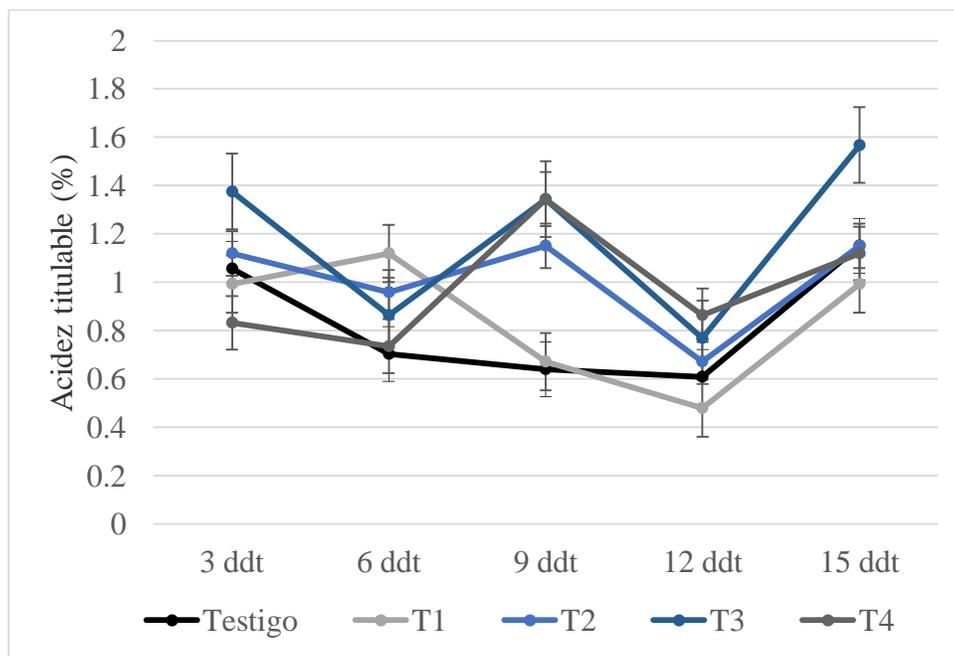
**Figura 3.** Comportamiento de los °Brix de los tratamientos en los días transcurridos. Se grafican promedios y desviaciones estándar. (ddt, días después de aplicar los tratamientos).



**Figura 4.** Comportamiento de la firmeza de los tratamientos con el paso de los días. Se grafican promedios y desviaciones estándar (ddt, días después de aplicar los tratamientos).

### Acidez titulable

Según Lanchero *et al.* (2007), el porcentaje de acidez titulable decrece conforme avanza la maduración y senescencia de los productos vegetales, debido a que estas moléculas son utilizadas como reserva energética en el proceso respiratorio, lo cual concuerda con lo observado en el comportamiento de la acidez titulable de los frutos que no recibieron tratamiento alguno (Figura 5), donde se aprecia un descenso paulatino de la acidez titulable desde el inicio hasta los 12 ddt.

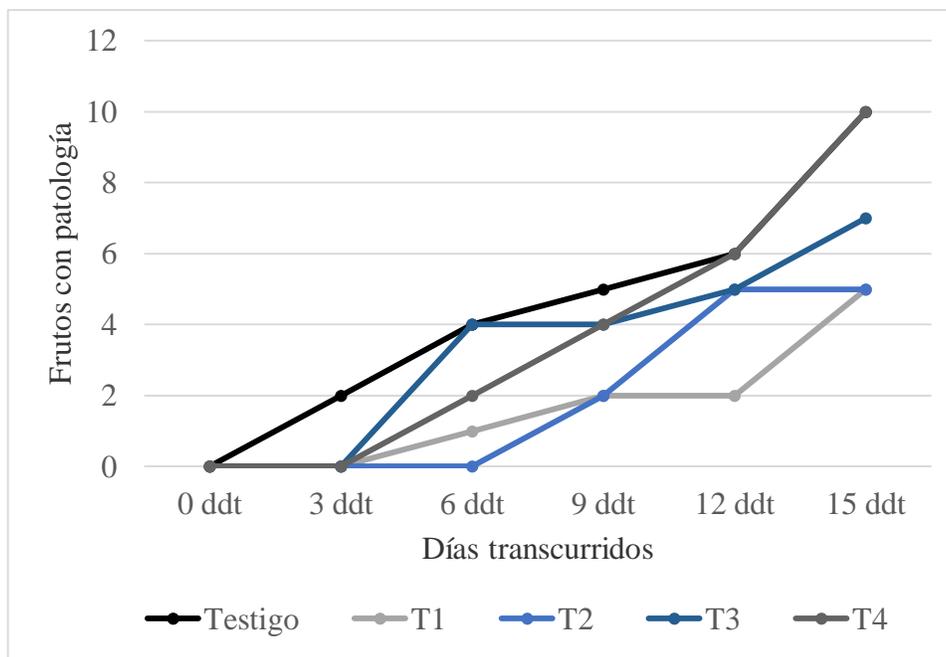


**Figura 5.** Comportamiento del porcentaje acidez titulable de los tratamientos conforme transcurrieron los días.

Contrariamente, los frutos recubiertos con los distintos biofilms, mostraron un comportamiento alterado con algunos picos de incremento en el porcentaje de acidez titulable en ciertos momentos del experimento, este desbalance pudo ser propiciado por el consumo de azúcares y ácidos orgánicos durante el proceso de respiración, la conversión de ácidos orgánicos en azúcares, la pérdida de agua por deshidratación, la hidrólisis de polisacáridos con la liberación de azúcares solubles propias del metabolismo del fruto, según lo reportaron Mota y Colivet (2019).

### Presencia de patologías

En la figura 6 se muestra como fue incrementando la presencia de patologías en los frutos con el paso de los días. Se aprecia que los frutos testigo presentaron patologías a partir del tercer día después del inicio del experimento (3 ddt). Mientras que los frutos que se sometieron a la aplicación de un recubrimiento comenzaron a mostrar defectos patológicos a partir del día seis, lo que indica que los biofilms aplicados aumentaron al menos tres días la vida de anaquel de los jitomates. Los frutos recubiertos con el T2 fueron los que tardaron más en presentar patologías hasta el día 9, siendo el T1 y T2 los tratamientos más eficientes para evitar las enfermedades en los frutos estudiados (Figura 7). Este efecto de retardo en la presencia de patologías en los frutos tratados pudo deberse a la acción antifúngica y antibacteriana que se le atribuye al mucílago de nopal por su alto contenido de calcio y lectinas (Solano-Doblado, 2014).



**Figura 6.** Comportamiento de los tratamientos con el transcurso de los días con respecto a los frutos con patologías.



**Figura 7.** Frutos a los quince días de la aplicación de los tratamientos (15 ddt).

### CONCLUSIONES

Se elaboraron y caracterizaron cuatro biofilms a base de polilla de la cera (*G. mellonella*) y nopal (*O. ficus-indica*), los cuales fueron puestos a prueba para prolongar la vida de anaquel de frutos de jitomate. Se detecta que la incorporación de harina de larva en las formulaciones disminuyó su transmitancia; sin embargo, al ser aplicadas en los frutos, la apariencia de estos no se vio afectada.

Los recubrimientos comestibles prometen aumentar la vida de anaquel de las frutas y verduras al generar un efecto parecido al de una atmósfera controlada o modificada, alterando las características fisicoquímicas del producto. En este estudio, la pérdida de peso, pérdida de firmeza y presencia de patologías fueron menores en los frutos tratados respecto a los frutos testigo, lo que sugiere que los recubrimientos aumentan la vida postcosecha del fruto. Sin embargo, las diferencias observadas en los sólidos solubles totales y porcentaje de acidez titulable entre los frutos tratados y los frutos testigo, muestran que el índice de madurez no se vio alterado por la aplicación de los recubrimientos utilizados en este experimento.

## AGRADECIMIENTO

Al Instituto Tecnológico Superior de Los Reyes (ITSLR) por brindar la infraestructura y el financiamiento para la realización de esta investigación.

## LITERATURA CITADA

- Carrillo-Inungaray, M.L. and A. Reyes-Munguía 2013. Vida útil de los alimentos. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*.
- De Ancos, B., D. González-Peña, C. Colina-Coca y C. Sánchez-Moreno. 2015. Uso de películas/recubrimientos comestibles en los productos de iv yv gama. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(1), 8-17.
- Delgado, A.C.B. y D.P.N. Porrás. 2011. Efecto del recubrimiento a base de almidón de yuca modificado sobre la maduración del tomate. *Revista Lasallista de Investigación*, 8(2), 96-103.
- Fischer, G. y O. Martínez. 1999. Calidad y madurez de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en relación con la coloración del fruto. *Agron. Colomb.* 16(1-3): 35-39
- Flores-Mendiola, G.R. 2012. Producción de biomásas y calidad nutrimental de *Opuntia ficus-indica* (L) Mill para consumo humano cultivado en forma hidropónica. Doctoral dissertation. Universidad Autónoma de Nuevo León).
- Giraldo-Gómez, G.I. 1999. Métodos de estudio de vida de anaquel de los alimentos. Departamento de Ingeniería Química.
- Lanchero, O., G. Velandia, G. Fischer, N.C. Varela y H. García. 2007. Comportamiento de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en poscosecha bajo condiciones de atmósfera modificada activa. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 8(1), 61-68.
- Monsalve, C.M. 2020. Operaciones especiales y de conservación en la poscosecha de frutas y hortalizas. *Notas de Campus*, (1).
- Mota, S.J.A. y J. Colivet. 2019. Efecto de recubrimiento comestible a base de almidón de Yuca sobre los parámetros químicos y sensoriales de cascos de Guayaba. *Cumbres*, 5(1), 137-154.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2019. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos. Roma: FAO. (Consultado: 18/02/2021). Disponible en <http://www.fao.org/3/ca6030es/ca6030es.pdf>.
- Orozco-Silvas, E. 2017. Elaboración y caracterización de películas de mucilago de nopal-pectina: efecto de la concentración del mucilago de nopal en las propiedades fisicoquímicas y mecánicas. Tesis de Químico en Alimentos. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca Estado de México. pp. 54.
- Pineda-Mendoza, N.F., A. Bernardino-Nicanor, G. Teniente-Martínez, J.M.S. Juárez-Goiz, S. Filardo-Kerstupp y L. González-Cruz. 2019. Efecto de un recubrimiento a base de mucilago de nopal sobre la calidad postcosecha de tomate. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, (4), pp. 366-371.
- Ruiz, V.M., H.D.J. Aguirre y N.V. Martínez. 2012. El consumo de larvas de *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae) fuente de nutrientes en dos estados de su metamorfosis opción al combate de esta plaga. *Editorial McGraw-Hill Educación*, 3(0), pp. 28-36.
- Salinas-Salazar, V.M. 2014. Caracterización de películas comestibles a base de mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) y evaluación de su aplicación como recubrimiento comestible en ciruela (*Prunus salicina* L.) para su conservación en fresco. Tesis de maestría en ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. México. pp. 163.
- Solano Doblado, L.G. 2014. Control poscosecha de papaya (*Carica papaya* L. Maradol) por tratamiento superficial de quitosano y mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*). Tesis de maestría. Universidad Veracruzana. Instituto de Ciencias Básicas. Región Xalapa. Disponible en: <http://cdigital.uv.mx/handle/123456789/1005>.

- Solórzano, A.C., A. Martín, S.M. Salazar, J.S. Sandoval y D.S. Kirschbaum. 2015. Correlación entre la medida del color del fruto y la concentración de sólidos solubles totales en frutilla o fresa (*Fragaria ananassa* Duch.).
- Vásquez-Avila, J.A. 2016. Evaluación de bloques multinutricionales con harina de larva de tenebrio (*Molitor linnaeus*) en el engorde de conejos (*Oryctolagus cuniculus*). Doctoral dissertation. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Vázquez-Briones, M.C. y J.A. Guerrero-Beltrán. 2013. Recubrimientos de frutas con biopelículas. *Temas selectos de Ingeniería de alimentos*, 7(2), 5-14.