

Evaluación de un recubrimiento comestible biodegradable sobre la calidad del chile habanero

María de Lourdes Vargas y Vargas^{1,5}
María de los Ángeles Mayorga-Patrón¹
Jorge Tamayo-Cortez¹
Víctor Toledo-López¹

1 Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Mérida-Departamento de Ingeniería Química-Bioquímica. Carretera Mérida Progreso km 5, s/n, Mérida, Yucatán, México. CP. 97118. (LE16081464@merida.tecnm.mx; jorge.tc@merida.tecnm.mx; victor.tl@merida.tecnm.mx).

Autora para correspondencia: maria.vy@merida.tecnm.mx

Resumen

Esta investigación presentó como objetivo mantener la calidad y vida de anaquel del *Capsicum chinense* Jacq. var. habanero, mediante el desarrollo y aplicación de un recubrimiento comestible inocuo, amigable con el ambiente y económico a base de agar y de extracto de cáscara de mango como una alternativa potencial de tratamiento poscosecha para el chile habanero por ser un fruto perecedero y susceptible a deterioro fisiológico. El estudio se llevó a cabo durante el año 2021, en la ciudad de Mérida, Yucatán. Al recubrimiento se le realizaron pruebas de solubilidad, humedad, opacidad, capacidad antioxidante y biodegradabilidad, en tanto que, a los chiles habaneros con recubrimiento se les evaluaron los parámetros de textura, acidez, humedad, contenido de polifenoles totales, vitamina C, capsaicina y capacidad antioxidante. Los resultados mostraron que los chiles con recubrimiento y almacenados a 4 °C presentaron una mayor vida de anaquel y se observó un efecto significativo del recubrimiento sobre los parámetros de textura, contenido de capsaicina y en el porcentaje de inhibición de radicales libres, lo que lo convierte en una tecnología apropiada para la conservación del chile habanero.

Palabras clave:

agar, cáscara de mango, chile habanero, vida útil.



Introducción

Se estima un 62% de pérdidas poscosecha en frutas y hortalizas generadas principalmente durante las actividades relacionadas con transporte, almacenamiento, empaque y en el proceso de comercialización, por lo que surge como reto lograr que el producto llegue al consumidor con calidad similar al del momento de la recolección (IICA, 2018). Esto hace necesario la aplicación de técnicas sostenibles, económicas, que no contaminen el medio ambiente, no destructivas, que reduzcan las pérdidas y que estén basadas en criterios de seguridad alimentaria.

Entre las tecnologías alternativas se encuentra el estudio de los recubrimientos comestibles para alargar la vida útil de un fruto frente al uso de materiales plásticos. Un recubrimiento comestible (RC), es producto de la formación de redes tridimensionales derivadas de la desnaturalización de sustancias comestibles como proteínas, polisacáridos o lípidos y se define como una capa delgada de material comestible formado directamente sobre la superficie del alimento por inmersión o aspersión (Otoni *et al.*, 2017).

Dentro de las funciones de los RC se encuentran: prolongar la vida de anaquel al controlar la transferencia de gases, evitar la pérdida de firmeza y humedad, regular la maduración, disminuir procesos metabólicos durante el almacenamiento, permitir la adición de otros compuestos, además, pueden mejorar la apariencia y calidad del producto recubierto para hacerlo más llamativo por su brillo o color, siendo los RC de base biológica los que ganan importancia debido a su biodegradabilidad, sostenibilidad y respeto por el medio ambiente (Mora-Palma *et al.*, 2021)

Se han realizado investigaciones aplicando RC en frutos: Kumar *et al.* (2021), lograron extender la vida útil del chile pimiento verde ya que se mantuvo la calidad del almacenamiento a 4 °C, el contenido fenólico, la firmeza y la actividad antioxidante, esto debido a la aplicación de un RC a base de extracto de cáscara de granada y quitosano. Mthembu *et al.* (2021), estudiaron el efecto de un RC a base de extractos de hojas de moringa y carboximetilcelulosa en frutos de tomate, reportaron disminuciones en los cambios de la textura, sólidos solubles totales y deterioro reducido en comparación con la fruta no tratada, por lo que la vida útil se prolongó al retrasar la maduración.

Los recubrimientos a base de goma de semilla de albahaca y aceite esencial de orégano en albaricoque mejoraron su calidad, olor y aceptabilidad, en tanto el aceite esencial disminuyó la permeabilidad al vapor de agua y mostró un incremento en la humedad en el recubrimiento (Hashemi *et al.*, 2017). La mayor parte de las matrices que forman los RC se busca que sean de fuentes renovables o de subproductos de las agroindustrias, con el fin de que sean biodegradables y lograr reducir el uso de envases de plástico no biodegradables.

Uno de los polímeros usados es el agar, el cual es extraído de las algas rojas, considerado como Gras, forma películas de buena calidad, incoloras, flexibles y de bajo contenido de humedad, con excelentes propiedades de barrera al oxígeno (Mostafavi *et al.*, 2020). La cáscara de mango representa un 20% del peso del fruto, es considerada un residuo agroindustrial y cuenta con un alto potencial para ser aprovechada en la obtención de moléculas con actividad antioxidante debido a la presencia de compuestos bioactivos como los polifenoles, flavonoides y carotenoides.

La cáscara del mango variedad Ataulfo contiene 68.13 mg de polifenoles por gramo de peso seco (Lizárraga y Hernández, 2018) y puede ser usada para incorporarla mediante polvo, aceites o extractos a los RC. *Capsicum chinense* var. habanero es uno de los más importantes cultivos en México, es un producto con un alto impacto socioeconómico que se caracteriza por la presencia de diversos metabolitos secundarios de gran valor para la industria farmacéutica y alimenticia como los capsaicinoides, polifenoles, vitaminas y carotenoides, los cuales le dan valor agregado (Oney-Montalvo *et al.*, 2020).

Sin embargo, es un fruto perecedero, tiene una vida de anaquel de dos semanas con almacenamiento a 22 °C, en tanto, a 7 °C en combinación con atmósferas modificadas usando bolsas de polietileno perforadas se pueden mantener hasta 20 días seguidos de 5 días a 22 °C (Pérez-Ambrocio *et al.*, 2018). Por lo anterior, se plantea como objetivo evaluar el efecto de un

recubrimiento comestible a base de agar y extracto de cáscara de mango sobre la calidad y vida útil del *Capsicum chinense* Jacq. var. habanero.

Materiales y métodos

Materia prima

Los chiles de color verde se adquirieron en el mercado local de la ciudad de Mérida, Yucatán cosechados el mismo día en el poblado de Dzidzantún, Yucatán y almacenados en contenedores de plástico, se seleccionaron de acuerdo con el tamaño, color del pedúnculo e integridad, descartando aquellos que presentaban daños físicos. Estos frutos se transportaron al Laboratorio de Tecnología de Alimentos Hortofrutícolas, situado en el Instituto Tecnológico de Mérida, ahí se lavaron con agua de la llave y se remojaron en una solución de 100 ppm de hipoclorito de sodio, con el fin de disminuir carga microbiana.

Se utilizó, agar grado alimentario marca Deiman (Ciudad de México) y glicerina comercial J.T Baker (Ciudad de México). La cáscara de mango, un total de 3 kg se obtuvo de la variedad Ataulfo, éste se encontraba en estado organoléptico para consumo, de color amarillo y libre de manchas negras. Las cáscaras se pesaron en una balanza granataria triple brazo marca Alpha y se secaron a 45 °C en un horno de secado de convección natural Binder (modelo ED115-UL) y posteriormente se molieron en una licuadora comercial Oster, hasta la obtención de un polvo fino.

Se realizó una extracción sólido-líquido con el método Soxhlet y etanol al 96% como solvente (J.T Baker, Ciudad de México) en una proporción de 5 g 200 ml de solvente. Por último, se obtuvo el extracto concentrando 50 ml en un rotavapor diagonal Ovan (modelo RE30) a una temperatura de 65 °C durante 30 min y se guardó a 4 °C en un refrigerador de dos puertas (Torrey) hasta su uso al día siguiente.

Preparación de soluciones formadoras de películas

El volumen total de agua (100 ml), se dividió en dos partes de 50 ml cada una, en la primera, se dispersó el agar (2% p/v) y se calentó la solución en un agitador magnético con temperatura (Eslab) a una temperatura de 80 °C, durante 30 min con agitación a 250 rpm. En la segunda parte, se preparó la dispersión de 2% de glicerol (p/v) y el extracto de la cáscara (2 y 3%, p/v), la cual se agregó lentamente a la solución de agar y toda la mezcla se mantuvo por media hora en calentamiento y agitación hasta observar una tonalidad brillante, se dejó enfriar a 60 °C, la solución se vació en cajas Petri y se secaron a 50 °C en un horno por 24 h.

Formulación de los recubrimientos comestibles (RC)

Se formularon dos RC: el primero formado con 2% de agar, 2% de glicerol y 2% de extracto de mango (RC1), el segundo recubrimiento, (RC2), contenía las mismas concentraciones de agar y glicerol, pero 3% del extracto de cáscara de mango. Ambos RC se caracterizaron evaluando los parámetros de humedad, solubilidad, opacidad y porcentaje de inhibición de radicales libres y a partir de los resultados obtenidos de estas variables se determinó el RC adecuado para ser aplicado en los frutos de chile habanero.

La aplicación del recubrimiento se realizó por inmersión de 200 chiles durante 2 s en un litro de solución filmogénica, se dejaron escurrir y ya secos se colocaron 20 chiles en bandejas rígidas de polipropileno, haciendo un total de 10 bandejas y se almacenaron a 3 °C ±1 °C durante 35 días, siendo éste lote considerado como chiles con recubrimiento (C/R), se manejó un segundo lote llamado control que consistía en chiles sin recubrimiento (S/R), se usaron 10 bandejas con 20 chiles cada una, en cada muestreo se analizaron dos bandejas por lote y se tomaron muestras representativas cada siete días; asimismo, se realizó la caracterización de la materia prima antes del tratamiento (día 0).

Variables de respuesta analizadas para determinar la calidad y vida útil del chile habanero

Acidez. Se realizó de acuerdo con la metodología descrita en el (AOAC, 2012), valorando una alícuota de la muestra con NaOH 0.1N. El resultado se expresó como porcentaje de ácido cítrico.

La firmeza. Fue evaluada con un texturómetro manual modelo GY-3. Los chiles fueron comprimidos en tres lugares diferentes con la sonda de compresión hasta que se rompió ligeramente la piel del fruto. Los resultados fueron expresados en kg cm^{-2} .

Vitamina C. Se usó el método oficial de la AOAC (2012) del 2-6 dicloro-indofenol. Los resultados se expresaron como mg de vitamina C en 100 g^{-1} de muestra (mg de vitamina C 100 g^{-1}).

Polifenoles totales. Para la determinación de fenoles se siguió el método de Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1999), la absorbancia se leyó a una longitud de onda de 765 nm mediante un espectrofotómetro UV-Visible (Velab) con celdas de vidrio de 1 cm de paso óptico. La concentración de polifenoles en el medio se calculó a partir de una curva de calibración con el uso de ácido gálico como patrón. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico 100 g^{-1} de muestra (mg EAG 100 g^{-1}).

Capacidad antioxidante. Se realizó de acuerdo con la técnica descrita por Kuskoski *et al.* (2005), que consistió en la formación del radical ABTS (ácido 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico) y lectura a una longitud de onda de 754 nm. Los resultados se expresaron en porcentaje de inhibición de radicales libres.

Cuantificación de capsaicinoides totales. Se midieron mediante espectrofotometría ultravioleta leyendo a una absorbancia de 280 nm, se manejó acetonitrilo como medio extractor, para esto se trabajó con un espectrofotómetro UV-Visible (Velab) y se usaron celdas de vidrio de 1 cm de paso óptico. Para la cuantificación se preparó una curva de calibración con concentraciones estándar de capsaicina en un rango entre 0-100 ppm. Los resultados se expresaron como mg de capsaicina por g^{-1} de muestra (mg de capsaicina g^{-1}).

Para la caracterización de los RC se realizaron las siguientes variables

Humedad. Se determinó por gravimetría de acuerdo con Oregel-Zamudio *et al.* (2016). El resultado se expresó como porcentaje de agua respecto al peso total. Para la solubilidad de las películas se empleó el método descrito por Oregel-Zamudio *et al.* (2016), se usaron las películas con peso seco de la prueba de humedad. Estas se sumergieron en 30 ml de agua destilada a temperatura ambiente por 24 h, transcurrido el tiempo se recuperaron las películas y se secaron en un horno a $80 \text{ }^\circ\text{C}$ por 24 h y se calculó el porcentaje de solubilidad expresado como contenido de materia seca solubilizada.

El espesor. De cada película se midió en tres puntos diferentes a temperatura ambiente con un micrómetro digital, tomando la media de las mediciones como el espesor en mm.

La opacidad. Fue determinada de acuerdo con la metodología de Nouraddini *et al.* (2018), determinada a 600 nm y calculada mediante la razón de la absorbancia a 600 nm/espesor de la película en mm.

Biodegradación. Se realizó en suelos naturales en donde las películas fueron enterradas en condiciones ambientales y se regaron cada tres días para simular condiciones de lluvia, a los 3, 8, 15, 20 y 30 días se recuperaron, se limpiaron y se secaron a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ en un horno de secado de convección natural (Binder), durante 24 h hasta peso constante. El grado de degradación en las películas se midió como el porcentaje de pérdida de peso.

El suelo se caracterizó en cuanto al contenido de microorganismos presentes con la metodología para cuantificación de microorganismos aerobios a través del método rápido de siembra en Placas Petrifilm y el contenido de nitrógeno total se determinó de acuerdo con el método de Kjeldahl (AOAC, 2012).

Análisis estadístico. Los resultados fueron analizados mediante un análisis de varianza (Anova) y la significancia estadística de las medias por la prueba de la diferencia mínima significativa (LSD). Least Significant Difference de Fisher con un nivel de confianza de 95%. El programa estadístico empleado fue Statgraphics Centurión 19. Cada variable de respuesta se analizó por triplicado.

Resultados y discusión

Los resultados de la caracterización de los recubrimientos se encuentran en el Cuadro 1, se observó que el RC1 con menor porcentaje de extracto de cáscara de mango (2%), presentó mayor espesor en comparación con el que contenía 3% del extracto, no existe diferencia significativa entre ellos con una $p \# 0.5$. El agar es un hidrocoloide que liga agua dentro de la película, al incrementar el contenido de extracto y haber menor contenido de agua permite una salida más fácil de ésta durante el secado y por consiguiente, una ligera disminución en el espesor.

Cuadro 1. Caracterización de los recubrimientos comestibles.

EC	Thickness (mm)	Moisture (%)	Solubility (%)	Opacity	(%) free radical inhibition
EC1	0.13 ±0.014 ^a	24.166 ±1.248 ^a	48.748 ±0.668 ^a	1.783 ±0.012 ^a	99.319 ±0.313 ^a
EC2	0.12 ±0.014 ^a	24.053 ±0.476 ^a	51.204 ±0.226 ^b	0.783 ±0.066 ^b	99.244 ±0.212 ^a

RC1-2% de agar, 2% de glicerol y 2% de extracto de mango. RC2- 2% de agar, 2% de glicerol y 3% de extracto de mango. Promedio y desviación estándar de tres repeticiones. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

La mayoría de los RC son de naturaleza hidrofílica y se ha encontrado que, a mayor grosor de la película, se incrementa la resistencia a la transferencia agua y gases a través de ellos ya que el espesor determina la distancia que el permeato (vapor de agua y gases) debe recorrer para difundir de un lado a otro de la película (Park y Chinnan, 1995). Se menciona que este parámetro debe de ser considerado para que el recubrimiento comestible en general forme una capa fina y delgada sobre el alimento (Al-Hassan y Norziah, 2012).

Se encontraron diferencias significativas ($p \# 0.05$) en la opacidad, donde ésta fue mayor en RC1 en comparación con RC2, esta propiedad es deseable ya que la luz cataliza los procesos de oxidación y degradación de compuestos nutricionales, como el contenido de vitamina C (Solano-Doblado *et al.*, 2018), en este caso, el extracto de cáscara de mango dio la opacidad al actuar como barrera para la luz.

En cuanto al porcentaje de humedad, no se observaron diferencias significativas entre los recubrimientos, por lo que el contenido de extracto de mango no presentó efecto en este parámetro pero si en la solubilidad, éste ha sido un factor de importancia que determina la integridad de los recubrimientos en un medio acuoso, así como en la biodegradabilidad, cuando se utiliza como medio para protección de los alimentos, este parámetro involucra la penetración de las moléculas de agua en la matriz polimérica, seguido por la ruptura de las fuerzas de Van de Waals (Archundia *et al.*, 2016).

Los RC presentaron una solubilidad moderada, siendo RC1 el que presentó el menor porcentaje, lo cual es deseable durante el almacenamiento ya que limita el exudado de los productos frescos, por lo que el empleo de películas de baja solubilidad es de importancia en alimentos que requieren una protección frente a la humedad (Montalvo *et al.*, 2012).

Ambos recubrimientos presentaron valores altos en el porcentaje de inhibición de radicales libres, pero, estadísticamente no fueron significativos entre ellos. Esta capacidad antioxidante fue proporcionada por el extracto de cáscara de mango, el cual aporta sustancias antioxidantes debido a la presencia de polifenoles (Lizárraga y Hernández, 2018)

De acuerdo con los resultados anteriores, se utilizó el RC1 formado por 2% de agar, 2% de glicerol y 2% de extracto de cáscara mango, debido a la solubilidad, opacidad y al porcentaje de inhibición de radicales libres para ser usado en chile habanero fresco como recubrimiento.

En cuanto a la biodegradación del RC1, en los primeros tres días, el peso de éste disminuyó drásticamente (56%) y al final de los 30 días se dio una pérdida de peso total de 60%, lo cual está relacionada con la pérdida de materiales solubles en agua o de compuestos de bajo peso molecular (glicerol) y con la actividad microbiana, en especial por la degradación enzimática.

Los microorganismos, representados por UFC g⁻¹ de suelo, fueron mayores en un 278.57% después de los 30 días de la pérdida de peso; asimismo, el contenido de nitrógeno del suelo también incrementó (0.324 ±0.011 al inicio y 0.46 ±0.009 al final de los 30 días), lo que puede indicar presencia de bacterias fijadoras de nitrógeno, por lo tanto, el proceso de biodegradación sí genera cambios significativos en el suelo.

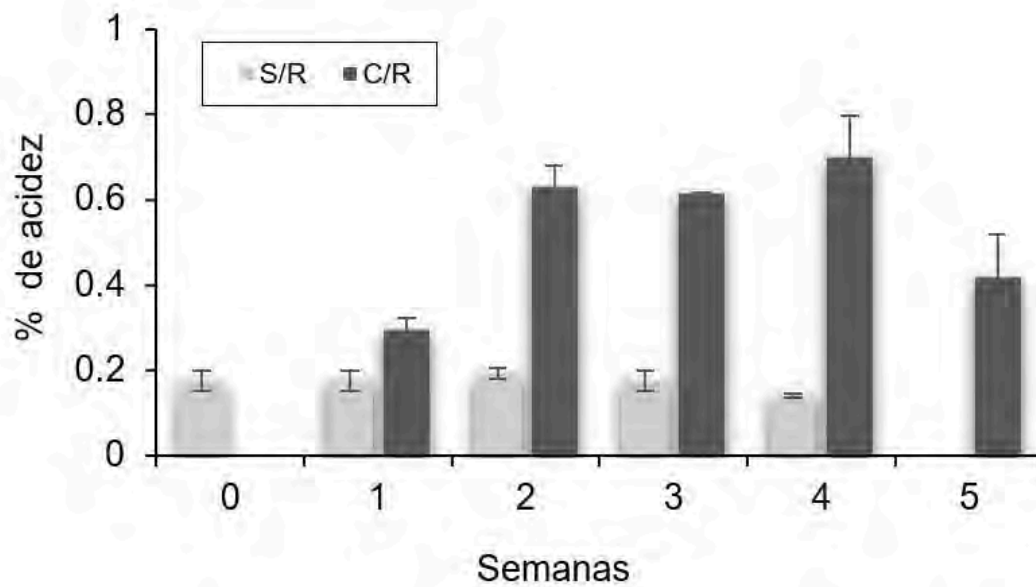
Se ha hecho referencia a que este proceso depende de varios factores tales como la temperatura, la humedad, el tipo de suelo empleado, la carga microbiana presente, entre otros (Emadian *et al.*, 2016). En chile habanero, la disminución en el contenido de humedad es una de las principales causas de deterioro que conlleva a la pérdida de peso, de apariencia, ablandamiento y de valor nutricional y en parte se debe a la capacidad limitada de retención de agua de los frutos por su naturaleza hueca, pero difiere entre especies, variedades y etapas de maduración (Calvo *et al.*, 2018).

Durante el almacenamiento refrigerado, se dio un incremento en el contenido de la humedad, de 60.89% ±1 en el día cero a 63.7% ±0.5 y 64.43% ±0.487 en chiles sin y con recubrimiento respectivamente, al final de la quinta semana. Al ser un fruto no climatérico, la baja temperatura de almacenamiento, 3 °C y las condiciones de humedad relativa (> 95%), dieron como resultado una disminución en la transpiración del fruto y menor permeabilidad de las membranas lo que causó un efecto positivo en el retraso de la senescencia de éste y en la pérdida de humedad, esto se vio reflejado en la vida útil de los chiles, 35 días fueron para los recubiertos y de 25 a 30 días para los del lote control. Chenlo *et al.* (2005), reportaron un incremento en el contenido de humedad en chiles pimiento y se puso de manifiesto que el almacenamiento con una película externa afecta la cinética de la pérdida de humedad.

El contenido de acidez en los chiles habaneros (Figura 1), resultó significativamente diferente entre los chiles C/R (con recubrimiento) y S/R (sin recubrimiento), durante el almacenamiento, donde los chiles C/R mostraron un incremento en el contenido de acidez, este comportamiento se asocia con el recubrimiento comestible que actúa como una atmósfera modificada que permite ralentizar el proceso metabólico en los frutos, lo que da lugar a una acumulación de ácidos orgánicos que aunado con la temperatura retrasa la degradación de éste ácido, esto hace que los chiles permanezcan verdes y ácidos (Figuroa *et al.*, 2013). En tanto, en los chiles control, esta variable tiende a mantenerse constante a lo largo del almacenamiento, con una dinámica de disminución debido a un aumento de la volatilización de ácidos orgánicos al no haber presencia de recubrimiento.

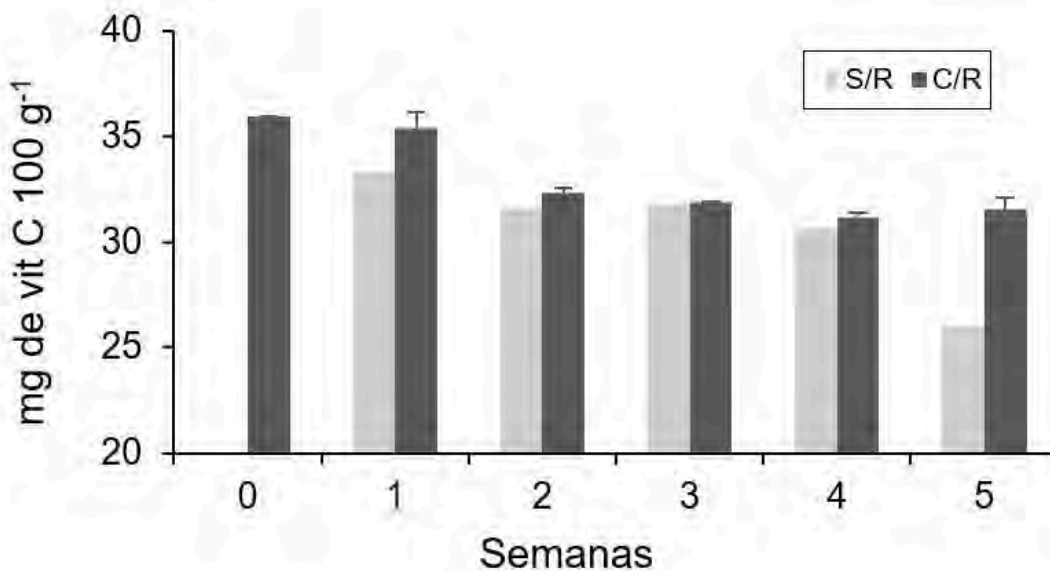


Figura 1. Contenido de la acidez (% de ácido cítrico) en chiles con y sin recubrimiento comestible.



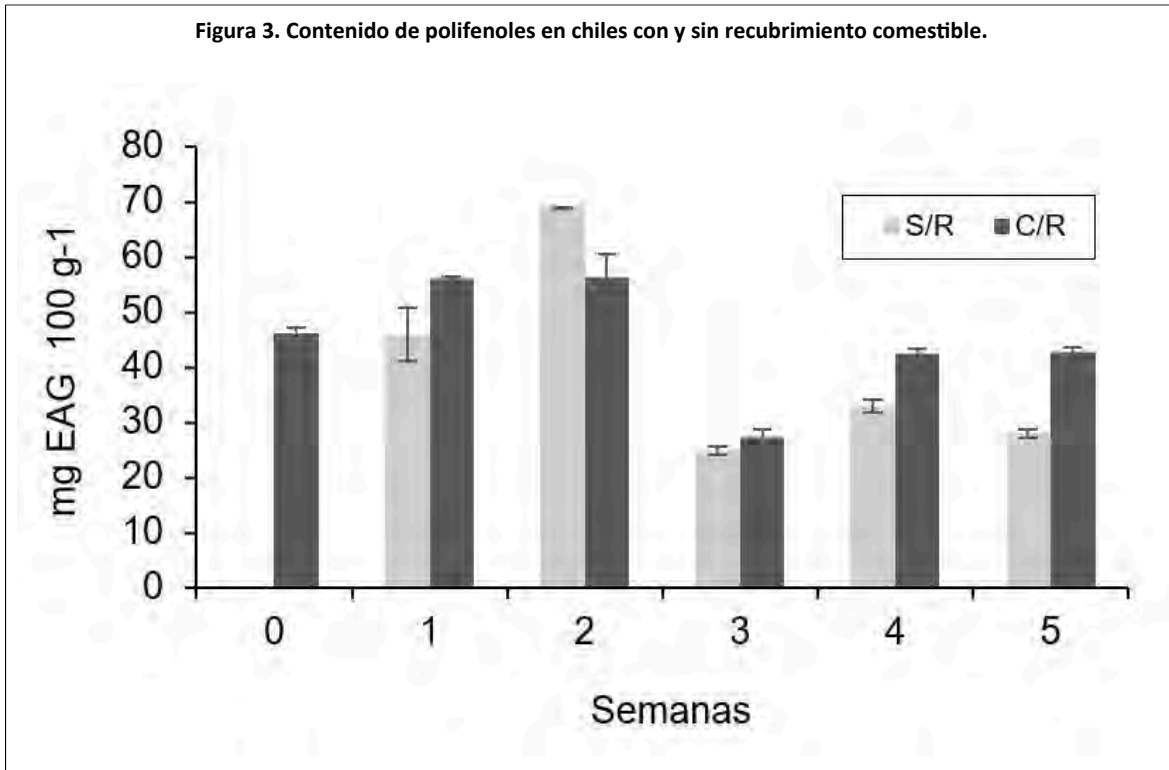
La vitamina C presentó una tendencia a disminuir a lo largo del almacenamiento y aunque los valores encontrados fueron ligeramente mayores en los frutos recubiertos estadísticamente no existe diferencia significativa entre ellos y el lote control ($p \geq 0.05$) durante la semana 0, 2, 3 y 4, si se observaron diferencias significativas en la semana 1 y 5, donde los frutos sin recubrir de ésta última presentaron una reducción más pronunciada (Figura 2).

Figura 2. Contenido de vitamina C (% de ácido ascórbico) en chiles con y sin recubrimiento comestible.



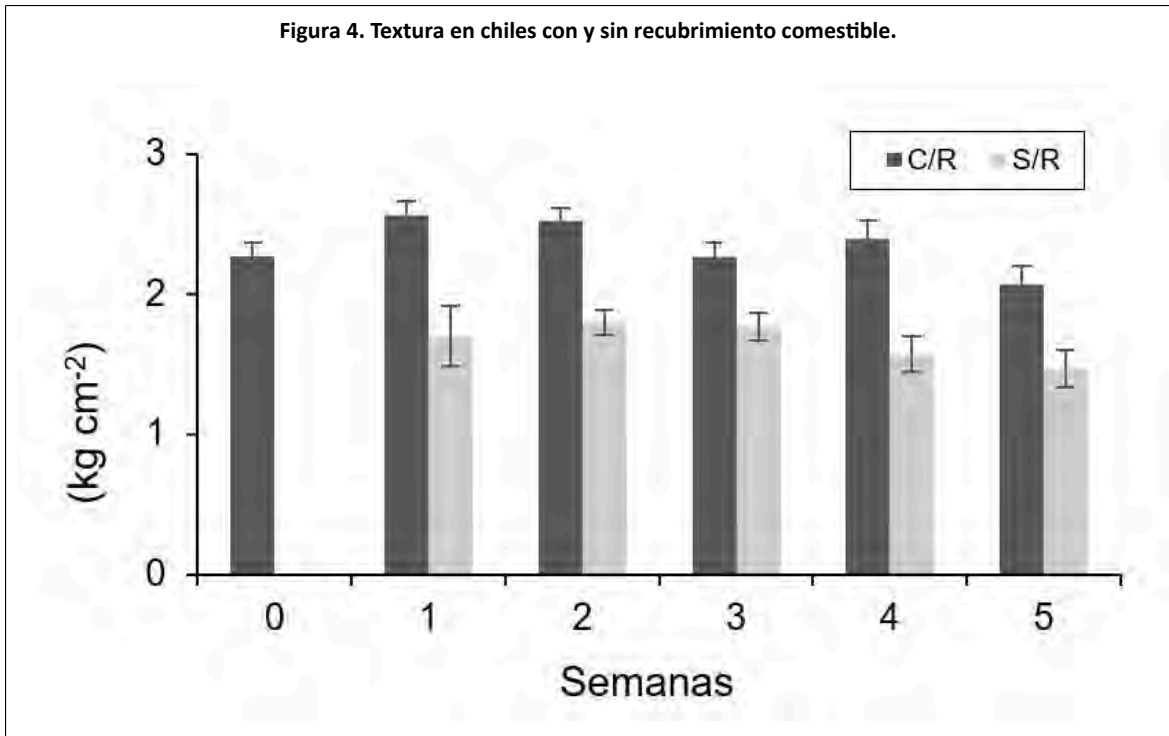
Los chiles C/R lograron conservar al final del almacenamiento un 86.11% de la vitamina C, esta disminución en la pérdida de su contenido puede atribuirse a la baja permeabilidad al O₂ que inducen los recubrimientos, lo que retrasa las reacciones de oxidación que degradan a este nutriente. El RC presentó un efecto positivo en la conservación de la vitamina C, ya que Espinosa-Torres *et al.* (2010), reportaron en Chile manzano recubierto con pliofilm y almacenado a 5 °C pérdidas de hasta 40% de concentración por lo que es recomendable consumirlo recién cosechado.

Los polifenoles son de los metabolitos principales que se encuentran en el Chile habanero, los cuales contribuyen al efecto antioxidante de este tipo de frutos. Los resultados obtenidos revelaron que el contenido de polifenoles en los frutos control y en los frutos recubiertos mostraron una tendencia a incrementarse hasta la segunda semana, para luego disminuir y volverse a incrementar en la 4^{ta} y 5^{ta} semana para los chiles C/R (Figura 3).



Este aumento en el contenido de polifenoles en chiles, está relacionado con la actividad de la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL), al incrementarse ésta por el estrés de los tratamientos, (control temperatura, recubrimiento + temperatura), ya que produce el deterioro y genera la descomposición de la estructura celular con la presencia de mayor contenido de polifenoles (Oms-Oliu *et al.*, 2008), los valores obtenidos están dentro del rango reportado por Oney-Montalvo *et al.* (2018), para chiles verdes cultivados en suelos rojo, café y negro (64.9, 49.8 y 53.3 mg EAG100 g⁻¹, respectivamente).

La pérdida de firmeza causada por los cambios en la estructura de la pared celular y por la merma en la humedad como consecuencia de la disminución de la turgencia celular es uno de los parámetros que más repercute en la calidad del Chile habanero. De acuerdo a los resultados obtenidos, el recubrimiento presentó un efecto positivo sobre la textura de los chiles, ya que los frutos C/R mostraron una textura significativamente mayor en cuanto a firmeza con respecto a los frutos S/R, el mantenimiento de esta característica se debe a que el recubrimiento actúa como una microatmósfera modificada al crear una barrera parcial al agua y disminuir la concentración de oxígeno, se reduce la actividad enzimática causante de la degradación de la pared celular, lo que permite la retención de la firmeza en los chiles (Figura 4).



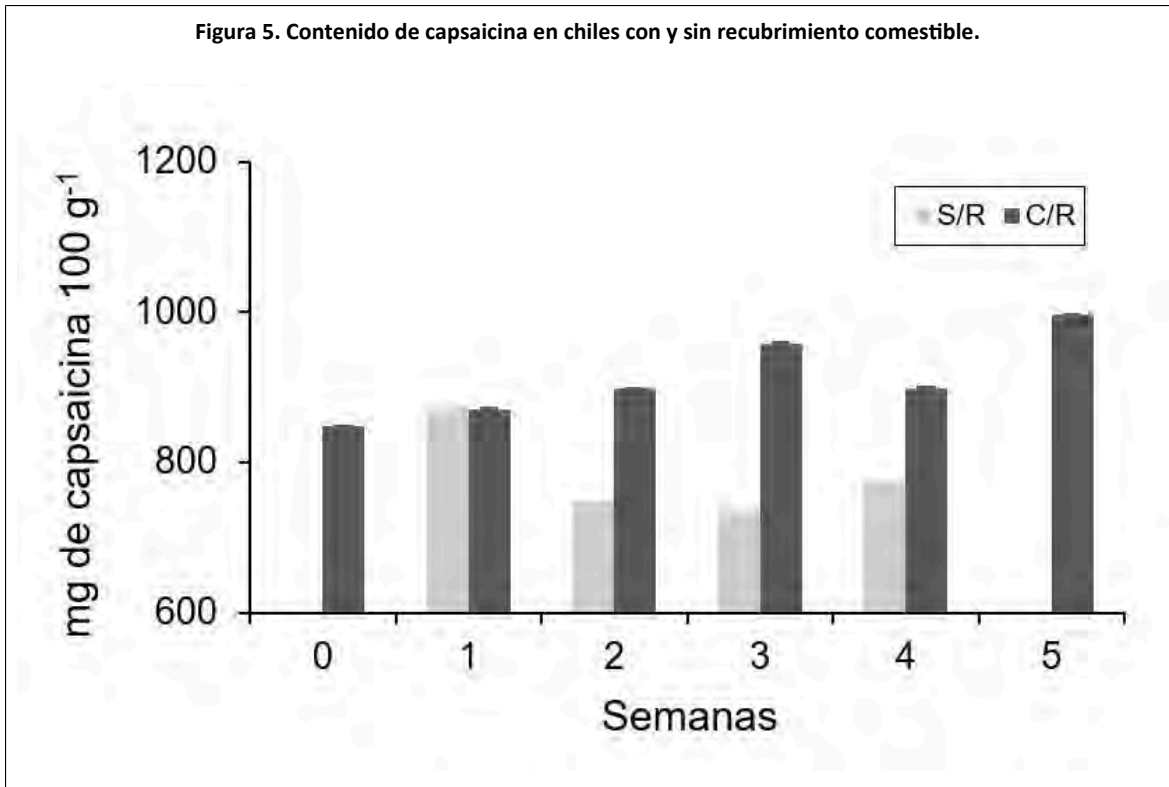
Resultados similares encontraron Ordoñez-Bolaños *et al.* (2014) durante la conservación del pimentón (*Capsicum annuum* L.), quienes demostraron que la aplicación de un recubrimiento comestible a base de almidón de yuca modificado y aceite esencial de tomillo, presentó cambios significativos en las propiedades de barrera de las muestras, retraso en la pérdida de firmeza y disminución del deterioro en comparación a los frutos sin recubrir.

Los capsaicinoides responsables del picor en los frutos de chile mostraron variación significativa entre los que tenían el recubrimiento y el lote control, donde los primeros fueron los que presentaron un mayor contenido de esta variable a lo largo del almacenamiento refrigerado.

Dicho incremento en los frutos C/R se debe a un aumento en la velocidad de síntesis y por la disminución en los niveles de degradación por un decremento en la actividad de las isoenzimas implicadas en la oxidación, debido a la atmósfera pobre en oxígeno creada por el recubrimiento al lograr, de igual forma, reducir la actividad de peroxidasas las cuales están involucradas con la degradación de la capsaicina y dihidrocapsaicina (Barbero *et al.*, 2016), otros autores mencionan que la capsaicina tiende a aumentar en condiciones de mayor estrés, en el caso del chile habanero por el recubrimiento más la temperatura (Pedraza-Chaverri *et al.*, 2017) (Figura 5).



Figura 5. Contenido de capsaicina en chiles con y sin recubrimiento comestible.



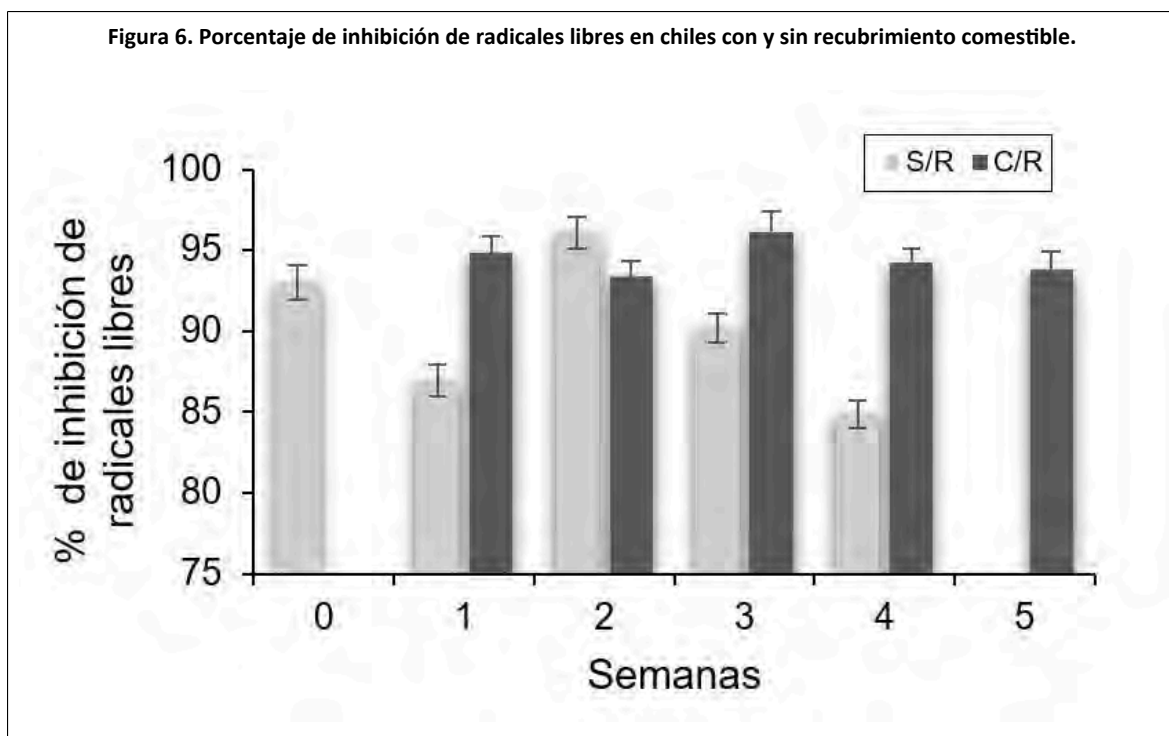
Los valores encontrados de este metabolito son superiores a los reportados para chile habanero por Oney-Montalvo *et al.* (2018), de 247.5 a 537.6 mg 100 g⁻¹, esta variación en el contenido de capsaicina se atribuye a la variedad botánica, maduración de la planta, origen geográfico de las plantas, tipo de suelo y métodos de extracción y analíticos.

Dado que la capacidad antioxidante total de un fruto es la sumatoria de su capacidad antioxidante en la fase hidrofílica y fase lipofílica (Repo y Encina., 2008), el porcentaje de inhibición de radicales libres se determinó mediante el ensayo del radical ABTS, dicha solución presenta una disminución en la absorbancia cuando éste es reducido por las especies donantes de hidrógeno o de electrones (sustancias antioxidantes contenidas en el chile habanero).

El porcentaje de inhibición de radicales libres para los chiles C/R fue significativamente mayor en comparación con los chiles S/R, con valores en un rango de 96 al 93% de inhibición, estos porcentajes son mayores a los reportados por Oney-Montalvo *et al.* (2018) para chile habanero cuyos valores de inhibición oscilan en el rango de 88 a 91% según el color del suelo en el que fueron sembrados (Figura 6).



Figura 6. Porcentaje de inhibición de radicales libres en chiles con y sin recubrimiento comestible.



La actividad antioxidante de un alimento es la expresión de los diferentes componentes polifenólicos, los cuales emplean diferentes mecanismos de acción para neutralizar las especies reactivas de oxígeno (Zapata *et al.*, 2013), en este caso, se observó una correlación moderadamente fuerte entre el contenido de polifenoles y el porcentaje de inhibición de radicales libres ($r = -0.5798$), lo cual indica que la inhibición de estos radicales depende principalmente de los compuestos polifenólicos.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados encontrados en este trabajo, el recubrimiento comestible de 2% de agar, 2% de glicerol y 2% de extracto de cáscara de mango presentó buenas características en solubilidad, actividad antioxidante y opacidad, se trata de un recubrimiento biodegradable amigable con el ambiente y de fácil preparación, su aplicación en *Capsicum chinense* var. habanero coadyuvó para mantener las características de calidad con una vida útil de hasta 35 días a 3 °C en comparación de los frutos sin recubrimientos que alcanzaron solamente 30 días.

Los chiles con recubrimiento lograron mantener la acidez, la firmeza, el contenido de polifenoles y capsaicina, alcanzaron altos valores de inhibición de radicales libres, por lo que este recubrimiento se considera como un método alternativo para alargar la vida útil del chile habanero, sin alterar sus características de calidad.

Bibliografía

- 1 Al-Hassan, A. and Norziah, M. 2012. Starch gelatin edible films: water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizers. *Food Hydrocolloids*. 26):108-117.
- 2 Anchundia, K.; Santacruz, S. y Coloma, J. 2016. Caracterización física de películas comestibles a base de cáscara de plátano (*Musa Paradisiaca*). *Revista Chilena de Nutrición*. 43(4):394-399. [Doi.org/10.4067/S0717-75182016000400009](https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000400009).
- 3 AOAC. 2012. Association of Official Analytical Chemists. 16th Ed. Washington DC, USA. <http://www.aoac.org/aoac>.

- 4 Barbero, G.F.; Aguiar, A. C.; Carrera, C.; Olachea, A. and Barroso, C. 2016. Evolution of capsaicinoids in piper pepper (*Capsicum annuum* var. *Annuum*) during fruit ripening. *Chemistry and Biodiversity*. 13(8):1068-1075.
- 5 Calvo, G.; Candan, A.; Colodner, A. y Gomila, T. 2018. Tecnología de poscosecha de fruta de pepita. 1^{ra} Ed. Río negro: ediciones INTA. Libro digital. ISBN 978-987-521-957-1.
- 6 Chenlo, F.; Moreira, R.; Chaguri, L. y Santos, F. 2005. Isotermas de desorción de pimientos de padrón (*Capsicum annuum*l. var. *Longum*) ciencia y tecnología alimentaria. *Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos* 5(1):18-24.
- 7 Emadian, S. M.; Onay, T. T. and Demirel, B. 2016. Biodegradation of bioplastics in natural environments. *Waste Management*. 59:526-536. Doi: 10.1016/j.wasman.2016.10.006.
- 8 Espinosa-Torres, L. E.; Pérez-Grajales, M.; Martínez-Damián, M. T.; Castro-Brindis, R. y Barrios-Puente, G. 2010. Efecto de empaques y temperaturas en el almacenamiento de chile manzano (*Capsicum pubescens*). *Revista Chapingo. Serie Horticultura*. 16(2):115-121.
- 9 Figueroa, J.; Salcedo, J. and Narváez, G. 2013. Efecto de recubrimientos comestibles a base de almidón nativo y oxidado de yuca sobre la calidad de mango (Tommy Atkins). *Temas Agrarios*. Doi.org/10.21897/rta.v18i2.719.
- 10 Hashemi, S. M. B.; Khaneghah, A.; Mousavi, G. G. M. and Ismail, E. 2017. Basil-seed gum containing *Origanum vulgare* subsp. *Viride* essential oil as edible coating for fresh cut apricots. *Postharvest Biology and Technology*. 125:26-34. Doi: 10.1016/j.postharvbio.2016.11.003.
- 11 IICA. 2018. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. El mercado y la comercialización. Manual. Programa de fortalecimiento de capacidades agroempresariales y asociativas. 55-105 pp.
- 12 Kumar, N.; Ojha, A.; Upadhyay, A.; Singh, R. and Kumar, S. 2021. Effect of active chitosan-pullulan composite edible coating enrich with pomegranate peel extract on the storage quality of green bell pepper. *LWT*. 138:110435- <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110435>.
- 13 Kuskoski, M.; Asuero, A.; Troncoso, A.; Mancini-Filho, J. y Fett, R. 2005. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciênc. Tecnol. Aliment. Campinas*. 25(4):726-732.
- 14 Lizárraga, C. y Hernández, C. 2018. Polifenoles de la cáscara de mango para la acuicultura. *Ciencia* 69(1):1-6.
- 15 Montalvo, C.; López, A. y Palou, E. 2012. Películas comestibles de proteína: características, propiedades y aplicaciones. *Temas selectos de ingeniería de alimentos*. 6(2):32-46.
- 16 Mora-Palma, R.; Feregrino-Pérez, A. y Contreras-Padilla, M. 2021. Recubrimientos comestibles para extender la vida de anaquel de productos hortofrutícolas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* . 5(4):4604-4610. Doi.org/10.37811/cl-rcm.v5i4.644.
- 17 Mostafavi, F. S.; Zaeim, D. 2020. Agar based edible films for food packaging applications a review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 159:1165-1176. Doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.123.
- 18 Mthembu, S.; Tesfay, S. Z.; Mditshwa, A. and Magwaza, L. S. 2021. Efficacy of moringa leaf extract and carboxymethyl cellulose on optimizing postharvest quality of tomato fruit (*Solanum lycopersicum*) harvested at different maturity stages. *Acta Horticulturae* <http://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1306>.
- 19 Nouraddini, M.; Esmaili, M. and Mohtarami, F. 2018. Development and characterization of edible films based on eggplant and corn starch. *International Journal of Biological Macromolecules* . 120:1639-1645.

- 20 Oms-Oliu, G.; Soliva-Fortuny, R. and Martín-Belloso, O. 2008. Using polysaccharide-based edible coatings to enhance quality and antioxidant properties of fresh-cut melon LWT - Food Science and Technology. 41:1862-1870.
- 21 Oney-Montalvo, J.; López-Domínguez, C.; Zamacona-Ruiz, M.; Gómez-Rincón, E.; Ramírez-Sucrez, M. y Rodríguez-Buenfil, I. 2018. Metabolitos presentes en *Capsicum chinense* en dos estados de maduración cultivados en diferentes tipos de suelos de Yucatán, México. Bionatura Conference Series. doi.org/10.21931/RB/CS/2018.01.01.9.
- 22 Oney-Montalvo, J.; Avilés-Betanzos, K.; Ramírez-Rivera, E.; Ramírez-Sucre, M. y Rodríguez-Buenfil, I. 2020. Contenido de polifenoles en frutos de *Capsicum chinense* en diferentes épocas de cosecha y su correlación con la actividad antioxidante. Plants. 9(10):1394-. Doi org/10.3390/plants9101394.
- 23 Oregel-Zamudio, E.; Oyoque-Salcedo, G.; Angoa-Pérez, V. y Aguilar, C. 2016. Caracterización fisicoquímica de películas comestibles a base de cera de candelilla. Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha. 17(1):1-7.
- 24 Ordoñez-Bolaños, D.; Zúñiga-Camacho, D.; Hoyos-Concha, J. L.; Mosquera-Sánchez, S. A. y Mosquera-Sánchez, L. 2014. Efecto de recubrimiento de almidón de yuca modificado y aceite de tomillo aplicado al pimiento (*Capsicum annum*). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 5(5):795-805.
- 25 Otoni, C. G.; Avena-Bustillos, R. J.; Azeredo, H. M. C.; Lorevice, M. V.; Moura, M. R.; Mattoso, L. and McHugh, T. M. 2017. Recent advances on edible films based on fruits and vegetables a review. Comprehensive reviews in Food Science and Food Safety. 16(5):1-19.
- 26 Park, H. J. and Chinnan, M. S. 1995. Gas and water vapor barrier properties of edible films from protein and cellulosic materials. J. Food Eng. 25:497-507.
- 27 Pedraza-Chaverri, J.; Medina-Campos, O.; Álvarez-Parrilla, E.; Meza-Ireta, S.; Plenge-Tellechea, L.; Alcalá-Hernández, C. y Wall-Medrano, A. 2017. Caracterización fitoquímica de un extracto de *Capsicum annum* cv. 'Jalapeño' y su actividad citotóxica en células 3T3-L1. Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas. 48(3):28-36.
- 28 Pérez-Ambrocio, A.; Guerrero-Beltrán, J. A.; Aparicio-Fernández, X.; Ávila-Sosad, R.; Hernández-Carranza, P.; Cid-Pérez, S. and Ochoa-Velasco, C. E. 2018. Effect of blue and ultraviolet-C light irradiation on bioactive compounds and antioxidant capacity of habanero pepper (*Capsicum chinense*) during refrigeration storage. Postharvest Biology and Technology. 135:19-26. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.08.023>.
- 29 Repo-Carrasco, R. y Encina C. 2008. Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. Revista de la Sociedad Química del Perú. 74(2):108-124.
- 30 Singleton, V.; Orthofer, R. and Lamuela, R. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin Ciocalteu reagent. Methods in Enzymology. 299:152-179.
- 31 Solano-Doblado, L.; Alamilla-Beltrán, L. y Jiménez-Martínez, C. 2018. Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas. 21(2):e20180153. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>.
- 32 Zapata, K.; Cortes, F. y Rojano, B. 2013. Polifenoles y actividad antioxidante del fruto de guayaba agria (*Psidium araca*). Información Tecnológica. 24(5):103-112.



Evaluación de un recubrimiento comestible biodegradable sobre la calidad del chile habanero

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 February 2024
Date accepted: 01 April 2024
Publication date: 07 May 2024
Publication date: Apr-May 2024
Volume: 15
Issue: 3
Electronic Location Identifier: e3295
DOI: 10.29312/remexca.v15i3.3295

Categories

Subject: Artículo

Palabras claves:

Palabras claves:

agar
cáscara de mango
chile habanero
vida útil

Counts

Figures: 6
Tables: 1
Equations: 0
References: 32
Pages: 0