



PROPIEDADES FÍSICAS DE PELÍCULAS DE QUITOSANO ADICIONADAS CON ACEITE ESENCIAL DE LIMÓN Y SU IMPACTO EN LA VIDA DE ANAQUEL DEL JITOMATE (*Lycopersicon esculentum* L.)

PHYSICAL PROPERTIES OF CHITOSAN FILMS WITH LEMON ESSENTIAL OIL ADDED AND THEIR IMPACT ON THE SHELF LIFE OF TOMATOES (*Lycopersicon esculentum* L.)

S. Bautista-Baños¹, R. González-Soto¹, M.L. Ramos-García^{2*}

¹Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional. Carr. Yautepec-Jojutla, Km. 6, calle Ceprobi 8, Col. San Isidro, Yautepec, Morelos CP 62731.

²Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Nutrición, Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, CP 62209, Cuernavaca, Morelos, México.

Recibido 9 de Agosto de 2017; Aceptado 4 de Septiembre de 2017

Resumen

El quitosano forma una matriz estructural que se adhiere a la superficie del fruto y se combina con lípidos para fortalecer sus propiedades de barrera al agua y propiedades mecánicas. En esta investigación se elaboraron películas de quitosano ácido oleico/cera de abeja y aceite esencial de limón. Se determinó la tensión a la fractura, porcentaje de elongación y permeabilidad al vapor de agua a las películas preformadas. Los recubrimientos se aplicaron por inmersión en dos estados de madurez del jitomate variedad Cuauhtémoc (verde-maduro y rojo-maduro), se almacenaron a dos temperaturas (25 ± 2 y 10 ± 2 °C) y se evaluaron los parámetros de firmeza, SST, color, pérdida de peso, CO₂ y etileno. La película de quitosano-ácido oleico-limón, mostró mayor tensión a la fractura que la película de quitosano-cera de abeja-limón (18.68 y 7.43 mPa, respectivamente) y menor permeabilidad al vapor de agua (5.08×10^{10} g m s Pa). La pérdida de peso fue menor en los frutos tratados con quitosano-ácido oleico-limón (7.9%). Los frutos en estado de madurez verde-maduro produjeron menor contenido de CO₂ en la última semana de almacenamiento comparado con los frutos cosechados rojo-maduro ($14.32 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ y $16.05 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectivamente). *Palabras clave:* propiedades mecánicas, permeabilidad, maduración, quitosano, *Lycopersicon esculentum* L.

Abstract

Chitosan forms a structural matrix that adheres to the fruit surface and combines with lipids to strengthen its water barrier and mechanical properties. In this research, films consisting of chitosan, oleic acid/beeswax and lemon essential oil were made. The fracture stress, percent elongation, and water vapor permeability of the preformed films were determined. The coatings were applied by immersion in two maturity stages (green-ripe and red-ripe) of Cuauhtemec tomatoes; they were stored at two temperatures (25 ± 2 and 10 ± 2 °C) and the parameters of firmness, TSS, color, weight loss, CO₂ and ethylene were evaluated. The chitosan-oleic acid-lemon film showed higher fracture stress than the chitosan-beeswax-lemon film (18.68 and 7.43 mPa, respectively) and lower water vapor permeability (5.08×10^{10} g m s Pa). Weight loss was lower in fruits treated with chitosan-oleic acid-lemon (7.9%). The fruits in a green-ripe maturity stage produced lower CO₂ content in the last week of storage compared to red-ripe fruits ($14.32 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ and $16.05 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectively).

Keywords: mechanical properties, permeability, maturation, chitosan, *Lycopersicon esculentum* L.

1 Introducción

El jitomate es considerado dentro de las hortalizas más importantes en todo el mundo, (Macías, 2010) y México es el país que exporta la mayor cantidad de toneladas de jitomate a nivel mundial (1,535,157

ton) siendo Estados Unidos su principal comprador (FAOSTAT, 2013; Galicia y col., 2008). La mayor parte del jitomate que se comercializa para mercado de exportación es para consumo en fresco y es cosechado en el estado de madurez verde-maduro. Para mercado local, la producción se cosecha en rojo-maduro. Esta hortaliza presenta pérdidas en postcosecha hasta de un

* Autora para la correspondencia. E-mail: margarita.ramosg@uaem.edu.mx
doi: 10.24275/uam/fiz/dcbi/revmexingquim/2018v17n1/Bautista
issn-e: 2395-8472

50% del total de la producción y el deterioro puede ser ocasionado por factores físicos o biológicos. Se ha utilizado tecnologías para conservar la vida de anaquel del jitomate, tal es el caso de tratamientos químicos, los cuales controlan el desarrollo de microorganismos, pero no mejoran la calidad del fruto. La utilización de empaques plásticos se ha utilizado para generar atmosferas modificadas y conservar la calidad (Ruiz y col., 2012), sin embargo, esto ha generado daños ambientales. En los últimos años se ha intensificado la búsqueda por desarrollar alternativas amigables con el ambiente que disminuyan las pérdidas postcosecha y prolonguen la vida de anaquel de las frutas y hortalizas. El uso de recubrimientos vegetales a base de polisacáridos contribuye a prolongar la vida útil de los productos hortofrutícolas, por la permeabilidad selectiva a los gases (O_2 y CO_2) que presentan (Dominguez-Courtney y Jiménez-Munguía, 2012) y su capacidad para formar películas (Fernández y col., 2015). El quitosano es un polisacárido utilizado para formular recubrimientos debido a que forma una matriz estructural que se adhiere al fruto, lo que permite generar una atmosfera interna. Carece de hidrofobicidad y se combina con lípidos para fortalecer sus propiedades de barrera al agua y sus propiedades mecánicas (Campos y col., 2011). Cuando se disuelve en medio acuoso, el quitosano posee una elevada carga positiva sobre sus grupos aminos y por lo tanto es capaz de adherirse con los lípidos o grasas cargados negativamente (Widro y col., 2007). Los aceites esenciales, el ácido oleico y la cera de abeja, son lípidos que se adicionan a los recubrimientos, ayudando a reducir la transpiración y por consiguiente la deshidratación de los productos agrícolas (Pastor, 2010). Se han reportado recubrimientos aplicados a frutos de jitomate a base de almidón de yuca y lípidos, los cuales disminuyen la tasa de respiración y aumentan la firmeza en tomates recubiertos, incrementando su vida de anaquel hasta en un 25% (Amaya y col., 2010; Barco y col., 2011; Castro, 2013). Se han realizado investigaciones combinando quitosano y aceites esenciales para disminuir el deterioro causado por microorganismos (Ramos-García y col., 2012; Sotelo-Boyás y col., 2015). Sin embargo, aún falta profundizar sobre el efecto de estos componentes sobre la vida de anaquel de frutos de jitomate. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto que tiene la aplicación de recubrimientos elaborados con quitosano, ácido oleico/cera de abeja y aceite esencial de limón, sobre los atributos de calidad de frutos de jitomate y determinar sus propiedades mecánicas y permeabilidad al agua.

2 Materiales y métodos

2.1 Preparación de las formulaciones

2.1.1 Preparación del quitosano

El quitosano se preparó siguiendo la metodología de Ramos-García, y col. (2012). Se utilizó quitosano de medio peso molecular (75-85 de grado de desacetilación; 200-800 cps). Se adicionaron 10 g de quitosano a 1000 mL de agua destilada y gradualmente se adicionaron 10 mL de ácido acético. La solución se mantuvo en agitación durante 24 h.

2.1.2 Extracción del aceite esencial de limón

La extracción de los aceites esenciales se realizó siguiendo la metodología de Bosquez-Molina y col. (2010). Se utilizaron 5 kg de exocarpo de limón mexicano y se mezcló con agua en una proporción de un 60 y 40 % (p/v), respectivamente. Se calentó a 60 °C por 2 h, utilizando un destilador por arrastre de vapor.

2.1.3 Formulaciones

Se elaboraron dos recubrimientos que contenían las siguientes formulaciones: 1) quitosano 1% (p/v), ácido oleico 1% (v/v), aceite esencial de limón 0.1% (v/v). 2) quitosano 1% (p/v), cera de abeja 0.1% (p/v), aceite esencial de limón 0.1% (v/v), ambas formulaciones contenían glicerol al 0.3% (v/v).

2.2 Propiedades mecánicas y de permeabilidad al agua

Para evaluar las propiedades mecánicas y la permeabilidad al vapor de agua de los recubrimientos se elaboraron películas a partir de cada una de las formulaciones, se tomaron 30 mL de cada formulación y se esparcieron sobre una placa de acrílico, posteriormente se dejaron secar durante 48 h a 25 ± 2 °C. Una vez formada la película, se desprendió cuidadosamente de la placa partiendo de los extremos con la ayuda de un bisturí. Las películas se mantuvieron durante 48 h en una cámara de acondicionamiento con una solución saturada de Bromuro de sodio (57 % HR) a una temperatura promedio de 23 °C. Para determinar el grosor de las películas, se realizaron mediciones con un micrómetro marca Mitutoyo modelo 103-177 de fabricación japonesa, en 10 áreas diferentes de las muestras.

Para evaluar la permeabilidad al vapor de agua se utilizó el método E96-80 (ASTM, 1996) con algunas modificaciones. Cada muestra de película se cortó y se colocó en una celda de aluminio con un área circular abierta de 0.00264 m^2 la cual contenía 37 g. de sílica gel; se registró el peso inicial de las celdas y se colocaron en desecadores con una solución saturada de cloruro de sodio (75 % HR) a una temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$; posteriormente se pesaron las muestras cada hora por 8 h. El transporte de vapor de agua se determinó por una ganancia en el peso de la celda de permeación. El cambio de peso en las celdas se graficó en función del tiempo. Se calculó la pendiente de cada línea por regresión lineal ($R^2 = 0.99$), el coeficiente de transmisión de vapor de agua (CTVA) se calculó de la pendiente (g s^{-1}) dividido por el área de la celda (m^2). Se midió el espesor y con esta determinación se calculó la permeabilidad (PVA) ($\text{gm}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$).

2.3 Aplicación de los recubrimientos sobre frutos de jitomate

Se utilizaron jitomates saladette var. Cuauhtémoc, cultivados bajo invernadero en Yautepec, Morelos. Se seleccionaron uniformemente de acuerdo al color, tamaño, forma y ausencia de daño por enfermedades microbianas y se cosecharon en dos estados de madurez: verde-maduro y rojo-maduro. Se lavaron con agua corriente y se dejaron secar, posteriormente se sumergieron en las diferentes formulaciones durante 30 s y se secaron al medio ambiente, después se almacenaron a temperatura controlada ($10 \pm 2^\circ \text{C}$) y temperatura ambiente ($25 \pm 2^\circ \text{C}$), durante tres semanas.

2.4 Determinación de color, firmeza y sólidos solubles totales (SST)

El color de los frutos se determinó cada semana con un espectrofotómetro Xrite MD. SP64, México, se evaluaron los valores de sistema CIEL* a^* b^* . Las mediciones se realizaron en cuatro lados de la parte ecuatorial del fruto. Los valores de color se reportaron en las coordenadas Luminosidad (L^*), ángulo de matiz ($H^* = \tan^{-1} b^*/a^*$) y cromaticidad ($C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$).

Para determinar la firmeza se utilizó un texturometro Chatillon MT-150-L de fabricación en América con punta de cono. El fruto se colocó en la platina y se ejerció presión con la ayuda de la palanca sobre la parte ecuatorial del fruto con epidermis y se evaluó por dos lados opuestos del fruto. Los valores de

firmeza se registraron en Newtons (N). En el mismo lugar donde se evaluó la firmeza, se extrajo una gota de jugo del fruto y se depositó sobre el sensor de un refractómetro ATAGO N-1E, fabricado en Japón (con escala de 1-32%) para determinar los °Brix presentes en el jitomate, se realizó una calibración con agua destilada antes de cada medición.

2.5 Determinación de pérdida de peso y producción de CO_2 y etileno

Los frutos se pesaron cada semana en una balanza OHAUS CS200 fabricada en USA. El porcentaje de pérdida de peso (% PP) se determinó calculando la diferencia de peso diaria respecto al peso inicial. Antes de comenzar con las mediciones de la producción de CO_2 y etileno, se obtuvo el volumen de los frutos evaluados. Se colocaron tres frutos de jitomate dentro de un frasco de plástico (2000 mL) y se sellaron (se utilizaron tres frascos por tratamiento), se dejaron los frutos durante 2 h y después se extrajeron 6 mL de aire de los frascos con una jeringa. El aire obtenido se inyectó en tubos vacoutainer para su evaluación en un cromatógrafo de gases (Varian Star 3400 CX, EE. UU.) equipado con columna capilar Chrompack®, detectores de conductividad térmica (TCD) para la medición de CO_2 y de ionización flama (FID) para evaluar el etileno. El gas acarreador fue el helio. Se aplicaron temperaturas de 150, 210, 250 y $80 \text{ }^\circ\text{C}$ en el inyector, TCD, FID y columna. La cuantificación de las concentraciones se auxilió con estándares de CO_2 y etileno de la empresa Praxair de México, S. A. De C. V.

2.6 Análisis estadístico

El diseño de los experimentos fue completamente al azar con un arreglo factorial, y se realizó un análisis de varianza con una prueba de comparación de medias de tukey ($P \leq 0.05$). Para las variables destructivas (firmeza y SST) se utilizaron seis frutos por semana, mientras que para las variables no destructivas (peso, color, CO_2 y etileno) se utilizaron nueve frutos por tratamiento. Se utilizó un paquete estadístico de SAS. versión 6.01 (SAS Institute, 1998).

3 Resultados y discusión

Las películas de quitosano-ácido oleico-aceite esencial de limón, mostraron una mayor tensión a la fractura

comparadas con las películas de cera de abeja (18.65 y 7.46 mPa, respectivamente). Datos similares reportó Vargas y col. (2009) donde caracterizaron películas de quitosano y ácido oleico y obtuvieron una tensión a la fractura similar (18 mPa). La película de quitosano-cera de abeja-aceite esencial de limón, mostró un porcentaje de elongación de 24.96%, lo cual indica una mayor flexibilidad que en la cubierta anterior (Cuadro 1). Una de las funciones que presenta la cera de abeja en las formulaciones es la de plastificante, lo cual permite que las películas presenten menor ruptura. Con respecto a las propiedades de permeabilidad al agua, la película de quitosano-ácido oleico-aceite esencial de limón mostró una permeabilidad menor (5.08×10^{10} gmsPa) que la cubierta de quitosano-cera de abeja-aceite esencial de limón (Cuadro 1). La mayor concentración de ácidos grasos aplicados en las películas permitió que se redujera la permeabilidad de vapor de agua (Vargas y col., 2009).

3.1 Determinación de color, firmeza y sólidos solubles totales (SST)

Después de tres semanas de almacenamiento las coordenadas CIE L*C*H* mostraron que los jitomates con el recubrimiento de quitosano-cera de abeja-aceite-esencial de limón tuvieron valores estadísticamente similares comparado con el control, en todos los parámetros de color, mientras que la cubierta de quitosano-ácido oleico-aceite esencial de limón sólo en la luminosidad (40.84) (Cuadro 2) y la cromaticidad (34.7) (Cuadro 3) fue igual que los frutos no fueron cubiertos (38.64 y 34.33, respectivamente), el ángulo matiz a pesar de ser estadísticamente diferente al resto de los tratamientos, se mantuvo en un ángulo de 45.81° (Cuadro 4), muy cerca de la cubierta con cera de abeja (43.88°) y el control (42.09°). El tono de color rojo corresponde a un ángulo matiz aproximadamente de 45° (Boscarol, 2007). A diferencia de lo reportado en esta investigación, Hernández-Muñoz y col. (2006) aplicó recubrimientos de quitosano y ácido acético en frutos de fresas

y reportó que al término del almacenamiento la luminosidad de los frutos disminuyó (26) al aplicar cubiertas con quitosano- ácido acético, por lo tanto, los frutos se mostraron más opacos que el control (31); sin embargo, en la cromaticidad y ángulo matiz, no se observaron diferencias. Chien y col. (2007) a diferencia de lo anterior, mostraron que la luminosidad en mangos aumentó al aplicar cubiertas de quitosano (61.37) a diferencia del control que fue de (56.54).

Los frutos verde-maduro mostraron valores de firmeza mayores durante el almacenamiento comparado con los frutos rojo-maduro (Cuadro 5). Según lo reportado por González-Aguilar y col. (2005) la firmeza de los frutos va disminuyendo cuando pasa del color verde al rojo y esta disminución es la consecuencia de la maduración del fruto, durante este proceso se incrementa la actividad de la enzima poligalacturonasa sobre las pectinas y paredes celulares, provocando el ablandamiento del tejido. Los frutos almacenados a 10 ± 2 °C tuvieron una firmeza mayor comparada con los almacenados en temperatura ambiente (8.59 N y 6.63 N, respectivamente). La conservación de frutas a bajas temperaturas después de la cosecha retrasa el envejecimiento natural de los productos y la producción de calor resultante de la respiración manteniendo su firmeza por un mayor periodo de tiempo, a diferencia de esto el almacenamiento a temperatura ambiente aumenta la transpiración, razón por la cual el fruto pierde agua, turgencia y firmeza (Esquivel, 2015; Navarro, 2010).

Las dos cubiertas de quitosano no influyeron en la firmeza de los frutos al término del almacenamiento, a diferencia de lo reportado por Hernández-Muñoz y col. (2006) los cuales reportaron que frutos tratados con cubiertas de quitosano (1%) y ácido acético, tuvieron una firmeza mayor (1.5 N) al término del almacenamiento que el control (1N). Otros investigadores como Chien. y col. (2007) probaron cubiertas de quitosano (0.2%) y ácido acético sobre la firmeza de frutos de mandarina y mostraron que la firmeza fue mayor (269 g) en las mandarinas cubiertas a diferencia del control (136g).

Cuadro 1. Propiedades mecánicas y de permeabilidad al vapor de agua de películas a base de quitosano.

Película	Tensión a la fractura (mPa)	Elongación (%)	Permeabilidad al vapor de agua ($\text{gm}^{-1} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$)
Quitosano-ácido oleico-aceite esencial de limón	18.65±.88 ^a	12.5±16.82 ^b	$5.08 \times 10^{10} \pm 3.38 \times 10^{10} \text{ }^b$
Quitosano-cera de abeja-aceite esencial de limón	7.43 ± 6.80 ^b	24.96±21.16 ^a	$9.14 \times 10^{10} \pm 4.93 \times 10^{10} \text{ }^a$

Letras diferentes entre columnas, significa que hay diferencia estadística significativa.

Cuadro 2. Valores de luminosidad de frutos de jitomates tratados con recubrimientos a base de quitosano, cosechados en dos estados de madurez y almacenados a dos temperaturas durante 3 semanas.

LUMINOSIDAD (L*)				
FACTOR	SEMANAS DE ALMACENAMIENTO			
	0	1	2	3
Estado de Madurez (EM)				
Verde-maduro	41.02±6.94 ^a	41.07±4.07 ^a	40.30±3.68 ^a	41.48±3.68 ^a
Rojo-maduro	36.03±11.34 ^b	35.29±11.84 ^b	38.09±4.52 ^b	38.52±5.86 ^b
DMSH	1.29	1.29	0.74	0.799
Recubrimientos (R)				
Quitosano-ácido oleico-aceite esencial de limón	40.10±6.65 ^a	40.10±6.21 ^a	39.65±4.49 ^a	40.84±4.22 ^a
Quitosano-cera de abeja-aceite esencial de limón	37.50±8.83 ^b	37.80±11.84 ^b	39.28±7.53 ^a	40.55±5.62 ^a
Control (Agua)	37.80±6.88 ^b	36.39±12.96 ^b	38.66±10.87 ^a	38.64±4.30 ^a
DMSH	1.9	1.89	1.1	1.1738
Temperatura (T)				
10±2 °C	35.49±14.43 ^b	37.30±13.40 ^b	37.34±5.75 ^b	41.43±5.78 ^a
25±2 °C	41.56±10.19 ^a	38.90±5.32 ^a	41.05±7.44 ^a	38.61±12.18 ^b
DMSH	1.29	1.29	0.74	0.799
Interacciones				
EM * R	NS	NS	NS	NS
EM * T	***	***	***	NS
R * T	NS	NS	NS	**
EM * R * T	**	NS	*	***
C.V	8.82	8.82	5	5.2

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta

El nivel de significancia para *=0.05; **=0.001; ***=0.0001; NS= no significativo

Los frutos tratados con ambos recubrimientos y el control no mostraron diferencias significativas en los valores de SST al término del almacenamiento. Esta información concuerda con lo reportado por Muy y col. (2009), donde evaluaron cubiertas a base de quitosano en mango y al término del almacenamiento no se observaron diferencias estadísticas entre la cubierta y el control. Los frutos rojo-maduro tuvieron un contenido de SST significativamente mayor ($P \leq 0.05$) durante las semanas de almacenamiento 1 y 2 (4.9% y 5.0%, respectivamente) comparado con los verde-maduros (4.4% y 4.7%, respectivamente), al final de la evaluación los SST fueron similares entre los estados de madurez. Misma situación se ha reportado en otras variedades tales como 'Soffia' y Muy y col. (2009), donde evaluaron cubiertas a base de quitosano en mango y al término del almacenamiento

no se observaron diferencias estadísticas entre la cubierta y el control. Los frutos rojo-maduro tuvieron un contenido de SST significativamente mayor ($P \leq 0.05$) durante las semanas de almacenamiento 1 y 2 (4.9% y 5.0%, respectivamente) comparado con los verde-maduros (4.4% y 4.7%, respectivamente), al final de la evaluación los SST fueron similares entre los estados de madurez. Misma situación se ha reportado en otras variedades tales como 'Soffia' y 'Bravona' donde no hubo variación en los SST desde el estado verde hasta su maduración, se reporta que los jitomates cosechados diferentes estados de madurez no tuvieron ninguna variación en el contenido de SST, por lo que probablemente el contenido de SST depende principalmente de la variedad de jitomate evaluada (Casierra-Posada y Aguilar-Avendaño, 2008).

Cuadro 3. Valores de cromaticidad de frutos de jitomates tratados con recubrimientos a base de quitosano, cosechados en dos estados de madurez y almacenados a dos temperaturas durante 3 semanas.

CROMATICIDAD (C*)				
FACTOR	SEMANAS DE ALMACENAMIENTO			
	0	1	2	3
Nivel				
Estado de Madurez (EM)				
Verde-maduro	32.74±5.13 ^a	34.07±5.02 ^a	31.19±8.71 ^b	36.04±5.16 ^a
Rojo-maduro	32.49±3.86 ^a	33.33±10.72 ^a	35.91±6.50 ^a	33.47±5.21 ^b
DMSH	1.21	1.17	1.25	1.42
Recubrimientos (R)				
Quitosano-ácido oleico-aceite esencial de limón	34.33±3.88 ^a	34.88 ±5.64 ^a	35.63±10.86 ^a	34.70±6.20 ^a
Quitosano-cera de abeja-aceite esencial de limón	30.88±5.03 ^b	32.53±6.72 ^b	37.29±7.08 ^a	35.22±6.47 ^a
Control (Agua)	32.62±7.65 ^b	33.68±5.54 ^{ab}	36.72±5.50 ^a	34.33±6.66 ^a
DMSH	1.77	1.72	1.84	2.09
Temperatura (T)				
10±2 °C	30.80±4.89 ^b	32.96±6.93 ^b	36.90±7.87 ^a	35.80±7.51 ^a
25±2 °C	34.42±6.52 ^a	34.42±8.72 ^a	36.20±7.59 ^a	33.70±4.46 ^b
DMSH	1.21	1.17	1.25	1.42
Interacciones				
EM * R	NS	NS	NS	NS
EM * T	***	NS	NS	NS
R * T	*	NS	*	NS
EM * R * T	NS	NS	NS	NS
C.V	9.72	9.09	8.99	10.73

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta

El nivel de significancia para *=0.05; **=0.001; ***=0.0001; NS= no significativo

3.2 Determinación de pérdida de peso y producción de CO₂ y etileno

Con respecto al porcentaje de pérdida de peso, en la primera semana de almacenamiento los frutos veteados mostraron menor velocidad de pérdida de peso (2.17%) que los frutos maduros (2.52%) (Figura 1). Sin embargo, el resto del almacenamiento no se observaron diferencias significativas entre los dos estados de madurez evaluados. Los frutos cubiertos con quitosano-ácido oleico-aceite esencial de limón, mostraron pérdida de peso menor durante las tres semanas de almacenamiento (1.89%, 4.67% y 7.19%, respectivamente) comparado con el recubrimiento de quitosano-cera de abeja-aceite esencial de limón, lo cual pudo deberse al efecto del ácido oleico. El ácido oleico es un ácido graso que posee características hidrofóbicas que le permiten mantener la humedad debido a que impide la transpiración acelerada de

los frutos disminuyendo su pérdida de peso (Murphy, 2005). Esto también se relaciona con la PVA del recubrimiento, el recubrimiento que contiene ácido oleico, tiene el valor más bajo de PVA. Esto puede discutirse o compararse con algunos resultados de la literatura.

Los frutos almacenados a 10 ± 2 °C (0.97%, 3.41% y 5.16%) tuvieron menor pérdida de peso que los almacenados a 25 ± 2 °C (3.76%, 8.18% y 12.26%) durante todo el tiempo de almacenamiento, esto es similar a los resultados obtenidos por Navarro (2010) y De Castro y col. (2006) los cuales mencionaron que la pérdida de peso fue menor en jitomate almacenados a 10 °C, que en los almacenados a temperatura ambiente (24 °C). Las temperaturas bajas, presentan menor déficit de presión de vapor entre el aire de los espacios intercelulares del fruto y el aire del entorno lo que reduce la transpiración y la pérdida de peso del fruto (Navarro, 2010).

Cuadro 4. Valores de ángulo matiz de frutos de jitomates tratados con recubrimientos a base de quitosano, cosechados en dos estados de madurez y almacenados a dos temperaturas durante 3 semanas.

FACTOR	ÁNGULO MATIZ (H*)			
	SEMANAS DE ALMACENAMIENTO			
Nivel	0	1	2	3
Estado de Madurez (EM)				
Verde-maduro	57.19±9.17 ^a	53.72±4.13 ^a	50.66±7.78 ^a	45.98±4.80 ^a
Rojo-maduro	48.44±8.62 ^b	45.62±10.40 ^b	37.49±7.46 ^b	41.88±8.13 ^b
DMSH	1.95	1.72	1.47	1.41
Recubrimientos (R)				
Quitosano-ácido oleico-aceite esencial de limón	54.45±5.37 ^a	51.47±5.74 ^a	48.63 ±4.15 ^a	45.81±8.49 ^a
Quitosano-cera de abeja-aceite esencial de limón	52.46±6.77 ^{ab}	51.19±5.64 ^a	48.65±6.59 ^a	43.88±5.07 ^{ab}
Control (Agua)	51.53±5.03 ^b	46.14±5.46 ^b	34.93±4.28 ^b	42.09±5.38 ^b
DMSH	2.86	2.53	2.16	2.07
Temperatura (T)				
10±2 °C	51.28±2.76 ^b	51.09±4.30 ^a	49.12±6.52 ^a	44.03±4.16 ^a
25±2 °C	54.34±4.45 ^a	48.21±5.81 ^b	39.03±6.28 ^b	43.82±5.05 ^a
DMSH	1.95	1.72	1.47	1.41
Interacciones				
EM * R	*	*	***	NS
EM * T	NS	NS	***	NS
R * T	*	***	***	**
EM * R * T	NS	**	***	NS
C.V	9.67	9.04	8.74	8.42

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta

El nivel de significancia para *=0.05; **=0.001; ***=0.0001; NS= no significativo

Al inicio de la evaluación, la producción de CO₂ fue significativamente mayor ($P \leq 0.05$) en los frutos cosechados en estado veteado (22.01 mg kg⁻¹ h⁻¹) comparado con los maduros (20.57 mg kg⁻¹ h⁻¹) (Cuadro 6), esto se atribuye a que los frutos después de la cosecha fueron transportados en temperaturas altas y estas condiciones aceleraron su proceso de respiración, además el incremento de CO₂ se asocia a la respuesta del fruto a la herida, la cual hace más intenso el proceso de maduración (Vargas y col., 2007). Cabe mencionar que se registró una fluctuación de temperatura de ± 2 °C durante el periodo d almacenamiento a temperatura ambiente. En la semana tres, los frutos almacenados a 25 ± 2 °C tuvieron mayor producción de CO₂ (16.19 mg kg⁻¹ h⁻¹) comparado con los de 10 ± 2 °C (14.39 mg kg⁻¹ h⁻¹). Las reacciones enzimáticas que tienen lugar durante el proceso de respiración aumentan exponencialmente al aumentar la temperatura de

almacenamiento de los frutos (Pérez-Gago y col., 2008).

En la tercera semana se observó que los frutos cosechados en un estado de madurez rojo-maduro tuvieron un contenido de etileno mayor (25.28 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) que los frutos veteados (21.48 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) (Cuadro 4). Osuna y col. (2011) reportan, que los frutos carnosos liberan etileno al llegar a madurez, con un aumento proporcional en la respiración para atender las necesidades energéticas de las enzimas que contribuyen a su senescencia.

En la primera segunda semana los frutos sin cubierta tuvieron valores de etileno más altos (32.31 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, 25.55 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectivamente) comparado con los tratados con la cubierta de quitosano-ácido oleico-aceite esencial de limón (24.26 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ y 23.06 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectivamente) y la cubierta de quitosano-cera de abeja-aceite esencial de limón (25.27 μL

Cuadro 5. Valores de firmeza y SST de frutos de jitomates tratados con recubrimientos a base de quitosano, cosechados en dos estados de madurez y almacenados a dos temperaturas durante 3 semanas.

FACTOR	FIRMEZA (N)				SST (° BRIX)			
	SEMANAS DE ALMACENAMIENTO							
Nivel	0	1	2	3	0	1	2	3
Estado de Madurez (EM)								
Verde-maduro	14.51±5.11 ^a	7.33±5.00 ^a	12.09±8.20 ^a	9.84±7.24 ^a	4.63±0.60 ^b	4.42±0.90 ^b	4.72±0.52 ^b	4.70±0.91 ^a
Rojo-maduro	8.69±6.41 ^b	4.61±4.13 ^b	8.75±5.52 ^b	5.37±4.35 ^b	5.05±0.80 ^a	4.96±1.21 ^a	5.05±1.63 ^a	4.81±1.01 ^a
DMSH	1.26	0.65	1.18	1.14	0.13	0.19	0.21	0.25
Recubrimientos (R)								
Quitosano-ácido oleico-aceite esencial de limón	11.30±7.87 ^a	11.07±4.63 ^b	10.8±6.38 ^a	8.40±8.54 ^a	4.85±0.51 ^a	4.80±1.22 ^a	4.87±1.00 ^a	4.82±0.90 ^a
Quitosano-cera de abeja-aceite esencial de limón	11.23±6.51 ^a	10.79±5.94 ^a	10.24±7.58 ^a	7.47±5.18 ^a	4.88±0.62 ^a	4.62±0.81 ^a	4.88±0.90 ^a	4.80±0.90 ^a
Control (Agua)	11.27±7.32 ^a	11.00±4.96 ^b	10.21±6.47 ^a	6.95±6.47 ^a	4.79±0.86 ^a	4.66±0.80 ^a	4.80±1.67 ^a	4.65±1.02 ^a
DMSH	1.85	0.96	1.74	1.68	0.2	0.28	0.31	0.36
Temperatura (T)								
10±2 °C	11.53±8.32 ^a	6.97±5.10 ^a	12.40±7.36 ^a	8.59±7.65 ^a	4.81±0.40 ^a	4.66±1.24 ^a	4.97±1.64 ^a	4.67±1.02 ^a
25±2 °C	11.68±6.80 ^a	4.97±3.60 ^b	8.43±7.38 ^b	6.63±5.50 ^b	4.87±1.00 ^a	4.72±1.00 ^a	4.80±0.61 ^a	4.84±1.00 ^a
DMSH	1.26	0.65	1.18	1.14	0.13	0.19	0.21	0.25
Interacciones								
EM * R	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS
EM * T	NS	***	***	*	NS	NS	NS	NS
R * T	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
EM * R * T	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V	23.04	23.23	24.13	31.89	5.99	8.61	9.21	11.18

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta

El nivel de significancia para *=0.05; **=0.001; ***=0.0001; NS= no significativo

Cuadro 6. Valores de CO₂ y etileno de jitomates tratados con recubrimientos a base de quitosano, cosechados en dos estados de madurez y almacenados a dos temperaturas durante 3 semanas.

FACTOR	PRODUCCIÓN DE CO ₂ (mL kg ⁻¹ h ⁻¹)				PRODUCCIÓN DE ETILENO (μL kg ⁻¹ h ⁻¹)			
	SEMANAS DE ALMACENAMIENTO							
Nivel	0	1	2	3	0	1	2	3
Estado de Madurez (EM)								
Verde-maduro	22.01± 3.04 ^a	17.36±2.80 ^a	18.68±1.73 ^a	14.32±1.71 ^b	26.71±1.66 ^a	24.49±2.39 ^a	24.59±2.88 ^a	21.48±1.90 ^b
Rojo-Maduro	20.57±2.98 ^b	15.00±1.43 ^b	17.87±7.70 ^a	16.05±1.25 ^a	27.85±2.88 ^a	22.35±1.99 ^a	26.77±1.55 ^a	25.28±1.90 ^a
DMSH	1.12	1.25	1.25	1.44	2.77	2.45	3.89	2.58
Recubrimientos (R)								
Quitosano-ácido oleico-aceite esencial de limón	21.77±3.14 ^a	16.52±2.79 ^a	20.45±3.42 ^a	16.43±1.95 ^a	24.26±2.75 ^b	23.06±2.70 ^{ab}	25.63±1.54 ^a	23.18±4.90 ^a
Quitosano-cera de abeja-aceite esencial de limón	20.31±3.02 ^a	16.07±2.04 ^a	17.63±1.60 ^a	15.03±2.36 ^a	25.27±1.29 ^b	21.65±4.17 ^b	26.49±1.97 ^a	24.19±2.60 ^a
Control (Agua)	21.80±3.96 ^a	15.96±3.14 ^a	16.74±3.36 ^a	14.45±1.94 ^a	32.31±3.37 ^a	25.55±3.53 ^a	24.92±3.34 ^a	25.05±2.93 ^a
DMSH	1.66	1.86	5.54	2.14	4.1	6.63	5.77	3.83
Temperatura (T)								
10±2 °C	22.14±4.64 ^a	16.87±2.56 ^a	16.54±1.98 ^a	14.39±1.58 ^b	26.10±2.51 ^a	25.59±1.47 ^a	25.32±3.31 ^a	23.04±2.87 ^a
25±2 °C	20.44±3.79 ^b	15.50±2.92 ^b	20.01±3.84 ^a	16.19±2.58 ^a	28.47±3.66 ^a	21.25±3.50 ^b	26.04±1.32 ^a	23.99±4.89 ^a
DMSH	1.12	1.25	3.74	1.44	2.77	2.45	3.89	2.58
Interacciones								
EM * R	NS	*	NS	NS	NS	NS	*	NS
EM * T	NS	***	NS	NS	NS	**	***	NS
R * T	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
EM * R * T	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V	7.66	11.27	29.77	13.28	7.66	11.27	29.77	13.28

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta

El nivel de significancia para *=0.05; **=0.001; ***=0.0001; NS= no significativo

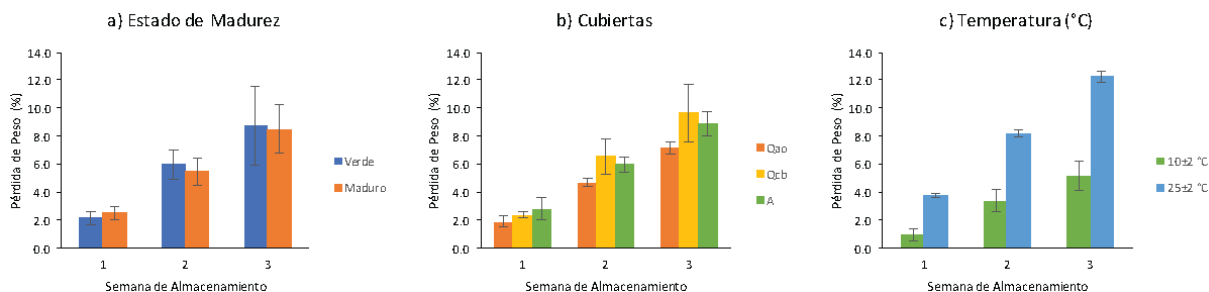


Fig. 1. Porcentaje de pérdida de peso de frutos de jitomate: a) cosechados en dos diferentes estados de madurez, b) tratados con recubrimientos a base de quitosano, c) almacenados a dos temperaturas diferentes.

$\text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ y $21.65 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$, respectivamente). Los recubrimientos con quitosano son eficientes para reducir la tasa de respiración y la producción de etileno cuando se aplican a frutas o vegetales (Marquez y col., 2009).

Conclusiones

La película de quitosano-ácido oleico-aceite esencial de limón presenta mayor tensión a la fractura y menor permeabilidad de vapor de agua comparado con el recubrimiento adicionado con cera de abeja. La aplicación del recubrimiento de quitosano-cera de abeja-aceite-esencial de limón no modificó los parámetros de color en el proceso de maduración, mientras que los frutos tratados con el recubrimiento de quitosano-ácido oleico-aceite esencial de limón y almacenados a $10 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ mostraron menor porcentaje de pérdida de peso después de tres semanas de almacenamiento. Además los jitomates cosechados en un estado de madurez verde-maduro y almacenados a $10 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ mostraron una firmeza mayor al término del almacenamiento y tuvieron menor producción de CO_2 . Los frutos cosechados rojo-maduro mantienen un contenido de SST mayor durante el almacenamiento.

Referencias

- Amaya, P., Peña, L., Mosquera, A., Villada, H. y Villada, D. (2010). Efecto del uso de recubrimientos sobre la calidad del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Dyna* 162, 67-73.
- ASTM. (1996). Standard test methods for water vapor transmission of materials, ASTM international, West Conshohocken. Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/E96.htm>. Accesado: 04 Agosto, 2017.
- Barco, PL., Burbano, AC., Mosquera, S., Villada, HS y Navia, DP. (2011). Efecto del recubrimiento a base de almidón de yuca modificado sobre la maduración del tomate. *Revista Lasallista de Investigación* 8, 96-103.
- Boscarol, M. (2007). El espacio del color $L^* C^* h$. Disponible en: http://gusgsm.com/espacio_color_lch. Accesado: 02 Marzo, 2012.
- Bosquez-Molina, E., Ronquillo-de Jesús, E., Bautista-Baños, S., Verde-Calvo, J and Morales-López, J. (2010). Inhibitory effect of essential oils against *Colletotrichum gloeosporioides* and *Rhizopus stolonifer* in stored papaya fruit and their possible application in coatings. *Postharvest Biology and Technology* 57, 132-137.
- Campos, C.A., Gerschenson, L.N. y Flores, S.K. (2011). Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. *Food and Bioprocess Technology* 4, 849-875.
- Casierra-Posada, F. y Aguilar-Avedaño, O. (2008). Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agronomía Colombiana* 26, 300-307.
- Castro, A. (2013). Efecto de la aplicación de recubrimientos comestibles en la calidad postcosecha de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). Tesis licenciatura de ingeniero industrial. Escuela Politécnica nacional. Ecuador.

- Chien, P., Sheu, F. y Lin H. (2007). Coating citrus (*Murcott tangor*) fruit with low molecular weight chitosan increases postharvest quality and shelf life. *Food Chemistry* 100, 1160-1164.
- De Castro, L., Cortez, L. y Vigneault, C. (2006). Effect of sorting, refrigeration and packaging on tomato shelf life. *Journal of Food Agriculture and Environment* 4, 70-74.
- Domínguez-Courtney, M. y Jiménez-Munguía, M. (2012). Películas comestibles formuladas con polisacáridos: propiedades y aplicaciones. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* 6, 110-121
- FAOSTAT, (2013). Cultivos y productos de ganadería. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/TP>. Accedido: 02 Agosto 2017.
- Esquivel, F. A. (2015). Evaluación del comportamiento en postcosecha de tres cultivares de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav) con tres temperaturas y dos atmosferas modificadas en la provincia de Cotopaxi, 2015. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga Ecuador.
- Fernández Valdés, D., Bautista, S., Fernández, D., Ocampo, A., García, A. y Falcón, A. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 24, 52-57.
- Galicia, R., Verde, R., Ponce, E., Gonzalez, R., Saucedo, C. And Guerrero, I. (2008). Stability of lycopene in cv. Saladette tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) stored under different conditions. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 7, 253-262.
- González-Aguilar, G., Monroy-García, I., Goycoolea-Valencia, F., Díaz-Cinco, M. y Ayala-Zavala. (2005). Cubiertas comestibles de quitosano. Una alternativa para prevenir el deterioro microbiano y conservar la calidad de papaya fresca cortada. *Simposium Nuevas Tecnologías de Conservación y Envasado de Frutas y Hortalizas. Vegetales frescos cortados*.
- Hernández-Muñoz, P., Almenar, E., Ocio, M. and Gavara, R. (2006). Effect of calcium dips and chitosan coating on postharvest life of strawberries (*Fragaria X annanasa*). *Postharvest Biology and Technology* 39, 247-253.
- Macías, A. (2010). Competitividad de México en el mercado de frutas y hortalizas de Estados Unidos de América. *Agroalimentaria* 16, 31-48.
- Marquez, C., Cartagena, J. R. and Perez-Gago, M. (2009). Effect of edible coatings on japanese loquat (*Eriobotrya japonica* T.) postharvest quality. *Revista de la Facultad de Química Farmaceutica* 16, 304-310.
- Murphy, D. M. (2005). *Plant Lipids Biology, Utilization and Manipulation*. Editorial CRC Press, USA.
- Muy, D., Espinoza, B., Siller, J., Saduño, A., Valdez, T., Osuna, T. (2009). Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) and an edible coating on enzyme activity and postharvest quality of mango 'ataulfo'. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32, 53-60.
- Navarro, E. R. (2010). Uso de agua residual en la producción de tomate hidropónico en invernadero. Tesis de Doctor en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma de Chapingo. México
- Osuna, T., Ibarra, M. E., Muy, M.D., Valdez, B., Villareal, M. y Hernández, S. (2011). Calidad poscosecha de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw.) cosechados en tres estados de madurez. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34, 63-72.
- Pastor, C. (2010). Recubrimientos comestibles a base de hidroxipropil metilcelulosa: caracterización y aplicación. Tesis doctoral Instituto universitario de ingeniería de alimentos para el desarrollo. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Pérez-Gago, M., Del Rio, M. y Rojas-Argudo, C. (2008). Recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas. Centro de Postcosecha del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). *Revista Horticultura* 207, 54-57. 385
- Ramos-García, M., Bosquez-Molina, E., Hernandez-Romano, J., Zavala-Padilla, G., Terrés-Rojas, E., Alia-Tejacal, I., Barrera-Necha, L.,

- Hernandez-López, M. and Bautista-Baños, S. (2012). Use of chitosan-based edible coatings in combination with other natural compounds, to control *Rhizopus stolonifer* and *Escherichia coli* DH5 α in fresh tomatoes. *Crop Protection* 38, 1-6.
- Ruiz, J., Vicente, A., Montañez, J., Rodriguez, R. y Aguilar C. (2012). Un tesoro perecedero en México: el tomate, tecnologías para prolongar su vida de anaquel. *Investigación y Ciencia* 54, 57-63.
- Sotelo-Boyás, M., Valverde-Aguilar., Plascencia-Jatomea, M., Correa-Pacheco., A., Jimenez-Aparicio, A., Solorza-Feria, J., Barrera-Necha, L. and Bautista-Baños, S. (2015). Characterization of chitosan nanoparticles added with essential oils. *In vitro effect on Pectobacterium carotovorum*. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 14, 589-599.
- Vargas, L., Centurion, A., Tamayo, E., Tamayo, J., Saucedo, C. y Sauri, E. (2007). Variación de la respiración y producción de etileno de rebanadas de pitahaya (*Hylocereus undatus*). Presentación S6-P135. 29 mayo -01 junio. Murcia, España. *V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones*.
- Vargas, M., Albors, A., Chiralt, A. and González-Martínez, C. (2009). Characterization of chitosan-oleic acid composite films. *Food Hydrocolloids* 23, 536-54.
- Wydro, P., Krajewska, B. and Hac-Wydro, K. (2007). Chitosan as a lipid binder: A Langmuir monolayer study of chitosan-lipid interactions. *Biomacromolecules* 8, 2611-2617.