



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

**RESPUESTAS POSCOSECHA DE FRUTOS DE PITAYA (*Stenocereus
griseus* H.), CON Y SIN ESPINAS A TRATAMIENTOS CON 1-MCP Y
RECUBRIMIENTO DE QUITOSANO**

**Que como requisito parcial
para obtener el grado de:**

MAESTRO EN CIENCIAS



Presenta:

PRISMA ESPINAL HERNÁNDEZ

DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPARTAMENTO DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

Bajo la supervisión de: **JOSÉ JOEL E. CORRALES GARCÍA, DR.**



Chapingo, Estado de México, diciembre de 2018

RESPUESTAS POSCOSECHA DE FRUTOS DE PITAYA (*Stenocereus
griseus* H.), CON Y SIN ESPINAS A TRATAMIENTOS CON 1-MCP Y
RECUBRIMIENTO DE QUITOSANO

Tesis realizada por **PRISMA ESPINAL HERNÁNDEZ** bajo la supervisión del
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

DIRECTOR:



DR. J. JOEL E. CORRALES GARCÍA

ASESOR:



DRA. MARÍA TERESA B. COLINAS LEÓN

ASESOR:



DRA. MA. CARMEN YBARRA MONCADA

ASESOR:



DR. RAÚL NIETO ÁNGEL

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Pitaya	3
2.1.1. Generalidades.....	3
2.1.2. Características del fruto	4
2.1.3. Vida de anaquel y manejo poscosecha del fruto.....	6
2.2. Maduración y senescencia.....	7
2.2.1. Etileno.....	8
2.3. Conservación en poscosecha de productos hortofrutícolas	9
2.3.1. Control químico de la respuesta al etileno	10
2.3.2. Recubrimientos biodegradables.....	12
2.4. Literatura citada.....	19
3. EVALUACIÓN DE RECUBRIMIENTOS BIODEGRADABLES A BASE DE QUITOSANO Y COMPONENTES HIDROFÓBICOS	24
3.1. Introducción.....	26
3.2. Materiales y métodos	28
3.2.1. Materiales.....	28
3.2.2. Optimización de la proporción quitosano – ácido oléico	28
3.2.3. Elaboración del recubrimiento de quitosano adicionado con ácido oléico.....	30
3.2.4. Preparación y evaluación de películas preformadas.....	30
3.2.5. Evaluación de recubrimientos a base de quitosano y cera de carnauba, candelilla y abeja en frutos de pitaya	32
3.2.6. Elaboración y aplicación de recubrimientos de quitosano adicionado con ceras.	33
3.2.7. Evaluación de los recubrimientos <i>in vivo</i>	33

3.2.8. Ensayo de actividad antifúngica.....	35
3.3. Resultados y discusión.....	37
3.3.1. Optimización de la proporción quitosano – ácido oléico	37
3.3.2. Respuestas fisiológicas y de atributos de calidad.....	39
3.3.3. Actividad antifúngica	47
3.4. Conclusiones.....	49
3.5. Literatura citada.....	50
4. CONSERVACIÓN POSCOSECHA DE PITAYA (<i>Stenocereus griseus</i> H.) CON RECUBRIMIENTO DE QUITOSANO – ÁCIDO OLÉICO Y 1- MCP.....	53
4.1. Introducción.....	55
4.2. Materiales y métodos	57
4.2.1. Cosecha y acondicionamiento del material biológico	57
4.2.2. Tratamientos y diseño del experimento	57
4.2.3. Aplicación de los tratamientos.....	59
4.2.4. Variables fisiológicas.....	59
4.2.5. Determinación de parámetros de calidad.....	60
4.2.6. Evaluación de la incidencia de hongos	62
4.3. Resultados y discusión.....	62
4.3.1. Variables fisiológicas.....	62
4.3.2. Determinación de parámetros de calidad.....	67
4.4. Conclusiones.....	74
4.5. Literatura citada.....	75
5. CONCLUSIONES	79
6. RECOMENDACIONES.....	80

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis bromatológico de la pulpa de dos variedades de pitaya (<i>Stenocereus griseus</i> H.).	5
Cuadro 2. Materiales del recubrimiento biodegradable aplicado en el experimento preliminar y su concentración.	28
Cuadro 3. Variables explicativas, concentración de ácido oléico y quitosano en niveles codificados y naturales del DCC.....	29
Cuadro 4. Espesor y PVA de la película preformada a partir de recubrimiento elaborado con las concentraciones óptimas para los factores ácido oléico y quitosano.	39
Cuadro 5. Atributos de color en cáscara de frutos de pitaya <i>S. griseus</i> H., almacenados durante 12 días a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR.....	44
Cuadro 6. Atributos de color de frutos de pitaya <i>S. griseus</i> H., almacenados durante 15 días a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR.	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representación esquemática de la formación de películas y recubrimientos.	13
Figura 2. Métodos de aplicación de los recubrimientos.	14
Figura 3. Condiciones óptimas de los factores ácido oléico (% v/v) y quitosano (% p/v) que generan la mínima pérdida de peso en pitaya desespínada, almacenada durante 12 días a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. D = Deseabilidad compuesta.	37
Figura 4. Superficie de respuesta para la optimización de la respuesta pérdida de peso en pitaya desespínada, almacenada durante a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR durante 12 días, en función de los factores concentración de ácido oléico y quitosano.	38
Figura 5. Efecto de recubrimientos de quitosano adicionado con cera de carnauba (Q-Cc), cera de candelilla (Q-Cd) y cera de abeja (Q-Ca) en la pérdida fisiológica de peso de frutos de pitaya <i>S. griseus</i> H. durante 12 días de almacenamiento a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$). Las barras verticales corresponden al error estándar.	39
Figura 6. Efecto de recubrimientos de quitosano adicionado con cera de carnauba (Q-Cc), cera de candelilla (Q-Cd) y cera de abeja (Q-Ca) en el patrón de respiración de frutos de pitaya <i>S. griseus</i> H. durante 12 días de almacenamiento a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$). Las barras verticales corresponden al error estándar.	41
Figura 7. Efecto de recubrimientos de quitosano adicionado con cera de carnauba (Q-Cc), cera de candelilla (Q-Cd) y cera de abeja (Q-Ca) en el patrón de producción de etileno de frutos de pitaya <i>S. griseus</i> H. durante 12 días de almacenamiento a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. Letras iguales indican diferencia no	

significativa (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$). Las barras verticales corresponden al error estándar.....	42
Figura 8. Efecto de recubrimientos de quitosano adicionado con cera de carnauba (Q-Cc), cera de candelilla (Q-Cd) y cera de abeja (Q-Ca) en el cambio de firmeza (N) de frutos de pitaya <i>S. griseus</i> H. durante 12 días de almacenamiento a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$). Las barras verticales corresponden al error estándar.....	43
Figura 9. Efecto de recubrimientos de quitosano adicionado con cera de carnauba (Q-Cc), cera de candelilla (Q-Cd) y cera de abeja (Q-Ca) en la concentración de SST (°Brix) de frutos de pitaya <i>S. griseus</i> H. a los 0 y 12 días de almacenamiento a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$). Las barras verticales corresponden al error estándar.	45
Figura 10. Efecto de recubrimientos de quitosano adicionado con cera de carnauba (Q-Cc), cera de candelilla (Q-Cd) y cera de abeja (Q-Ca) en el pH (A) y acidez titulable (% de ácido málico) (B) de frutos de pitaya <i>S. griseus</i> H. a los 0 y 12 días de almacenamiento a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$) en cada tiempo de muestreo. Las barras verticales corresponden al error estándar.....	46
Figura 11. Aspecto de frutos de pitaya (<i>S. griseus</i>) atacados por <i>Alternaria alternata</i>	47
Figura 12. Efecto de recubrimientos a base de quitosano adicionado con ácido oléico (AO), cera de abeja (CA), cera de carnauba (CB) y cera de candelilla (CC) en el crecimiento de micelio de <i>Alternaria alternata</i> en la prueba <i>in vitro</i> por el método de dilución en agar. Las barras verticales corresponden al error estándar. Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$).	48
Figura 13. Crecimiento de micelio de <i>Alternaria alternata</i> a los 12 días de incubación a 28 ± 1 °C en la prueba <i>in vitro</i> por el método de dilución en agar. Testigo (T) quitosano adicionado con ácido oléico (AO), cera de abeja (CA), cera de carnauba (CB) y cera de candelilla (CC).	49

Figura 14. Efecto de diferentes tratamientos en frutos de pitaya *S. griseus* H. no desespinaados (Nd), desespinaados (D), desespinaados con recubrimiento de quitosano + AO (D+Q), desespinaados tratados con 1-MCP (D+1MCP) y desespinaados con recubrimiento de quitosano + AO y tratados con 1-MCP (D+Q+1MCP) en la pérdida fisiológica de peso (%) durante 12 días de almacenamiento (A) a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. Las barras verticales corresponden al error estándar. Letras iguales (B) indican diferencia no significativa (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$). 63

Figura 15. Efecto de diferentes tratamientos en frutos de pitaya *S. griseus* H. no desespinaados (Nd), desespinaados (D), desespinaados con recubrimiento de quitosano + AO (D+Q), desespinaados tratados con 1-MCP (D+1MCP) y desespinaados con recubrimiento de quitosano + AO y tratados con 1-MCP (D+Q+1MCP) en el patrón de respiración durante 12 días de almacenamiento a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. Las barras verticales corresponden al error estándar. 64

Figura 16. Efecto de diferentes tratamientos en frutos de pitaya *S. griseus* H. no desespinaados (Nd), desespinaados (D), desespinaados con recubrimiento de quitosano + AO (D+Q), desespinaados tratados con 1-MCP (D+1MCP) y desespinaados con recubrimiento de quitosano + AO y tratados con 1-MCP (D+Q+1MCP) en el patrón de producción de etileno durante 12 días de almacenamiento a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. Las barras verticales corresponden al error estándar..... 66

Figura 17. Efecto de diferentes tratamientos en frutos de pitaya *S. griseus* H. no desespinaados (Nd), desespinaados (D), desespinaados con recubrimiento de quitosano + AO (D+Q), desespinaados tratados con 1-MCP (D+1MCP) y desespinaados con recubrimiento de quitosano + AO y tratados con 1-MCP (D+Q+1MCP) en la firmeza (N) durante 12 días de almacenamiento a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. Las barras verticales corresponden al error estándar. Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$). 68

Figura 18. Efecto de diferentes tratamientos en frutos de pitaya *S. griseus* H. no desespínados (Nd), desespínados (D), desespínados con recubrimiento de quitosano + AO (D+Q), desespínados tratados con 1-MCP (D+1MCP) y desespínados con recubrimiento de quitosano + AO y tratados con 1-MCP (D+Q+1MCP) en los sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix) durante 12 días de almacenamiento a 11 ± 1 $^{\circ}$ C y 93 ± 2 % HR. Las barras verticales corresponden al error estándar. Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$). 71

Figura 19. Efecto de diferentes tratamientos en frutos de pitaya *S. griseus* H. no desespínados (Nd), desespínados (D), desespínados con recubrimiento de quitosano + AO (D+Q), desespínados tratados con 1-MCP (D+1MCP) y desespínados con recubrimiento de quitosano + AO y tratados con 1-MCP (D+Q+1MCP) en el cambio de pH durante 12 días de almacenamiento (A) a 11 ± 1 $^{\circ}$ C y 93 ± 2 % HR. Las barras verticales corresponden al error estándar. Letras iguales (B) indican diferencia no significativa (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$). 72

Figura 20. Efecto de diferentes tratamientos en frutos de pitaya *S. griseus* H. no desespínados (Nd), desespínados (D), desespínados con recubrimiento de quitosano + AO (D+Q), desespínados tratados con 1-MCP (D+1MCP) y desespínados con recubrimiento de quitosano + AO y tratados con 1-MCP (D+Q+1MCP) en la acidez titulable (% de ácido málico) durante 12 días de almacenamiento (A) a 11 ± 1 $^{\circ}$ C y 93 ± 2 % HR. Las barras verticales corresponden al error estándar. Letras iguales (B) indican diferencia no significativa (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$). 73

DEDICATORIAS

A la decisión, al cariño, a la comprensión, al apoyo, a la confianza, a la paciencia, al respeto, al coraje, a la incertidumbre, a la inconformidad...

A cada persona especial que me acompaña en la vida de una u otra manera, a quienes he agradecido y con quienes permanezco en deuda. Omito mencionar nombres en este espacio, porque corren el riesgo de quedar ocultos mientras no se cambien el pensamiento y las prácticas que oscurecen cada documento de ésta naturaleza.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento otorgado para mis estudios de Posgrado.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por ser una institución pública que me ha brindado una excelente preparación académica.

Al Dr. Joel Corrales García por su acertada dirección, por compartir sus conocimientos y experiencia, por permitir el desarrollo de este trabajo de investigación dentro del laboratorio a su cargo, por su confianza, paciencia, respeto y disposición en todo momento.

A la Dra. Ma. Carmen Ybarra Moncada por guiar esta investigación en una parte fundamental de toda investigación que se digne llamarse científica, por compartir sus conocimientos, experiencia y paciencia, además de su interés en mi desarrollo académico y personal.

A la Dra. Ma. Teresa Beryl Colinas León Moreno por su asesoría, paciencia y confianza.

Al Dr. Raúl Nieto Ángel por su asesoría, confianza y por su iniciativa de realizar trabajos en campo que apunten a resolver problemas productivos y organizativos.

Al Profesor Ubaldo Larios Luna y al señor Juan Larios Luna por facilitar la materia prima utilizada en el presente trabajo de investigación, por su confianza, seriedad y por los acertados consejos.

A los trabajadores administrativos que facilitaron trámites y procedimientos durante mi estancia en el posgrado, contribuyeron al desarrollo del trabajo de investigación y en especial a aquellos que son atentos, amigables, solidarios y comprensivos.

A mis compañeros de laboratorio de quienes recibí asesoría, atención y apoyo incondicional.

A mis compañeras de la Décimo Quinta Generación por su compañía, apoyo, respeto, paciencia, amistad, tolerancia y crítica.

A mis amigos por su apoyo incondicional, por sus palabras de aliento, consejos, confianza y paciencia.

Finalmente agradezco a todas aquellas personas que de manera indirecta realizaron acciones que contribuyeron a la culminación de mis estudios de posgrado.

A MI FAMILIA PEQUEÑITA Y DEMÁS FAMILIARES, INFINITAMENTE.

DATOS BIOGRÁFICOS

Prisma Espinal Hernández, nació en el estado de Oaxaca, el 10 de junio de 1987. Realizó sus estudios de preparatoria en la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo y sus estudios de licenciatura en la misma universidad en el Departamento de Ingeniería Agroindustrial, obtuvo el título de licenciatura con el desarrollo de la tesis denominada “Obtención de un cultivo láctico termófilo rústico y su empleo en la elaboración de queso Oaxaca artesanal”.

Laboralmente ha formado parte de la Sociedad Civil Asesoría Integral Técnica Agropecuaria (AITA S. C.) dedicada a proveer servicios de capacitación y asistencia técnica a productores, organizaciones y empresas de índole Agropecuario.

RESUMEN GENERAL

RESPUESTAS POSCOSECHA DE FRUTOS DE PITAYA (*Stenocereus griseus* H.), CON Y SIN ESPINAS A TRATAMIENTOS CON 1-MCP Y RECUBRIMIENTO DE QUITOSANO

La pitaya (*Stenocereus griseus* H.) es una cactácea cuyo exótico fruto, se caracteriza por su pulpa de color rojo intenso y de sabor muy dulce. El fruto tiene potencial comercial en mercados nacionales y extranjeros, sin embargo, su vida de anaquel es corta y presenta espinas que le confieren un aspecto hostil para su consumo, por otro lado, el manejo poscosecha es rústico y no se ha tecnificado. Por lo anterior, el objetivo fue evaluar, cambios poscosecha de pitayas desespínadas, tratadas con 1-MCP y recubrimientos de quitosano adicionado con componentes hidrofóbicos. En primer lugar, se buscó mitigar el carácter hidrofílico del quitosano adicionando (por separado) cuatro componentes hidrofóbicos; luego los recubrimientos formados se evaluaron en términos de permeabilidad a vapor de agua y de su capacidad para reducir pérdida fisiológica de peso (Pfp) en frutos de pitaya. Con la aplicación de recubrimientos de quitosano adicionados con un componente hidrofóbico (ácido oléico, cera de carnauba, candelilla y abeja) se tuvieron Pfp menores al 3.5 %. Finalmente se evaluó el recubrimiento de quitosano (0.9 % p/v) adicionado con ácido oléico (0.63 % v/v) (Q+AO) y la aplicación de 1-MCP (4.2 $\mu\text{L L}^{-1}$) en el comportamiento fisiológico y en variables de calidad de frutos de pitaya almacenadas 15 días a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. Se encontró que el recubrimiento Q+AO redujo pérdida de firmeza, incrementó SST, disminuyó acidez y retrasó por tres días la incidencia de patógenos, respecto a los frutos sin recubrimiento, así se logró una vida de anaquel de 15 días, se encontró que el hongo patógeno responsable del deterioro de la pitaya fue *Alternaria alternata*. Bajo las condiciones del experimento, el 1-MCP, por sí solo, no representó una alternativa promisoría para prolongar la vida de anaquel de la pitaya.

Palabras clave: *Stenocereus griseus* H., vida poscosecha, recubrimientos, componente hidrofóbico.

Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria. Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Prisma Espinal Hernández.

Director de tesis: Dr. J. Joel E. Corrales García.

ABSTRACT

POSTHARVEST RESPONSE OF FRUITS OF PITAYA (*Stenocereus griseus* H.), WITH AND WITHOUT THORNS TO 1-MCP TREATMENTS AND CHITOSAN COATINGS

The pitaya (*Stenocereus griseus* H.) is a cactus whose exotic fruit, is characterized by its pulp of intense red color and very sweet flavor. The fruit has commercial potential in domestic and foreign markets, however, its shelf life is short and has thorns that give it a hostile aspect for consumption, on the other hand, post-harvest handling is rustic and has not been technified. Therefore, the objective was to evaluate post-harvest changes of despined pitaya, treated with 1-MCP and chitosan coatings added with hydrophobic components. In the first place, it was sought to mitigate the hydrophilic character of chitosan by (separately) adding four hydrophobic components; then the formed coatings were evaluated in terms of water vapor permeability and their ability to reduce physiological weight loss in pitaya fruits. With the application of chitosan coatings added with a hydrophobic component (oleic acid, carnauba wax, candelilla and bee), the weight loss was lower than 3.5 %. Finally, the coating of chitosan (0.9 % w/v) added with oleic acid (0.63 % v/v) (Q+AO) and the application of 1-MCP ($4.2 \mu\text{L L}^{-1}$) in physiological behavior and in quality variables of pitaya fruits stored 15 days at 11 ± 1 °C and 93 ± 2 % RH was evaluated. It was found that the Q+AO coating reduced loss of firmness, increased SST, decreased acidity and delayed for three days the incidence of pathogens regarding the uncoated fruits, thus achieving a 15 days shelf life, it was found that the pathogenic fungus responsible for the deterioration of the pitaya was the *Alternaria alternata*. Under the conditions of the experiment, the 1-MCP, by itself, did not represent a promising alternative to prolong the shelf life of the pitaya

Key words: pitaya, postharvest life, coatings, hydrophobic component.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La pitaya es un fruto atractivo para los consumidores por su pulpa jugosa, de color rojo intenso y de sabor muy dulce; contiene semillas diminutas y fácilmente masticables, tiene una delicada textura, atractiva apariencia y no presenta aguates (Mizrahi, Nerd & Nobel, 1997). La pulpa, presenta alto contenido de azúcares y cantidades considerables de vitaminas B, C y E y minerales como hierro, cobre y zinc (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1991), también se encuentran presentes compuestos con actividad antioxidante como betalaínas y fenoles (García-Cruz, Salinas-Moreno & Valle-Guadarrama, 2012). Sin embargo, son altamente perecederas y su vida de anaquel es corta (Corrales-García, 2003), además, presentan espinas prominentes que dificultan su manejo y dan un aspecto agresivo generando desagrado a la vista de los consumidores.

Debido al corto tiempo de conservación del fruto de pitaya en poscosecha y al desconocimiento del comportamiento respiratorio por efecto del desespinado, surge la necesidad de buscar alternativas para prolongar la vida útil de este fruto y así alcanzar oportunidades en nuevos mercados que demandan frutos frescos y con importante valor nutrimental. Por lo anterior, se han realizado trabajos descriptivos y de caracterización (Corrales-García, 2003; García-Cruz et al., 2012; Martínez-González & Cruz-Hernández, 1995;) y otros que apuntan a la conservación del fruto de pitaya en poscosecha, mediante materiales de empaque y frigoconservación (Magaña-Benítez, Corrales-García, Colinas-León & Cruz-Hernández, 1999); almacenamiento de frutos con espinas y sin espinas en frigoconservación (Rosas-Benítez, Trujillo-Cárdenas, Valle-Guadarrama, Salinas-Moreno & García-Cruz, 2016); empacado al vacío y bajas temperaturas (Torralba, 2013).

Actualmente, la aplicación de 1-metilciclopropeno (1-MCP), por su capacidad de unirse a los receptores de etileno, se ha investigado como una opción para prolongar la vida útil y calidad de productos hortofrutícolas (Blankenship & Dole, 2003). Otra técnica de conservación es el uso de recubrimientos biodegradables, que son aplicados a frutas con el fin de mantener sus atributos en poscosecha, uno de ellos es el quitosano, que puede retrasar los cambios de atributos cualitativos y nutracéuticos, prevenir el crecimiento de microbios, mantener la actividad antioxidante y prolongar la vida útil de productos hortofrutícolas (Elsabee & Abdou, 2013). Muchos investigadores han fabricado películas a base de quitosano por diversos métodos y para ampliar las ventajas de las películas y recubrimientos han añadido diversos materiales funcionales al quitosano (Wang, Qian & Ding, 2018).

Sin embargo, hasta el momento se desconoce el efecto de ambas técnicas de conservación en el fruto de pitaya. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue evaluar, bajo condiciones de frigoconservación (11 ± 1 °C) y humedad relativa (HR) controlada (93 ± 2 % HR), cambios poscosecha durante la vida de anaquel en pitayas desespínadas, tratadas con 1-MCP y un recubrimiento de quitosano adicionado con componentes hidrofóbicos.

De esta manera, el presente estudio se organiza en cuatro capítulos, en el primero y segundo se desarrollan elementos introductorios y el contenido teórico del tema de investigación, respectivamente. En el tercer capítulo se presenta la metodología y los resultados obtenidos de las evaluaciones de cuatro componentes hidrofóbicos agregados a los recubrimientos de quitosano para mitigar su carácter hidrofílico. Finalmente en el cuarto capítulo se estudian el comportamiento fisiológico (pérdida fisiológica de peso, comportamiento respiratorio y producción de etileno) y variables de calidad (firmeza, contenido de sólidos solubles totales, pH, acidez titulable y color) de frutos de pitaya en respuesta a un recubrimiento de quitosano adicionado con ácido oléico y 1-MCP, durante su vida de anaquel, almacenados a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Pitaya

2.1.1. Generalidades

Dentro de las cactáceas de mayor importancia por el valor de sus frutos se encuentran aquéllas pertenecientes a los géneros *Opuntia*, *Stenocereus* e *Hylocereus*, siendo los dos últimos géneros a los que al fruto se les da el nombre de pitaya o pitahaya (Luna-Morales, 2007). Para referir y reconocer frutas de diferentes géneros se denominará “pitayas” a las frutas del género *Stenocereus* y “pitahayas” o “pitajayas” a las frutas de *Hylocereus* o *Selenicereus* (Corrales-García, 2003).

Los frutos de muchas especies de cactus columnares, como la pitaya, son consumidos en México y en otros países de Latinoamérica. El género que contiene la mayoría de especies con frutas comestibles es *Stenocereus*, el cual comprende 24 especies, de las cuales 19 se encuentran en México; distribuyéndose principalmente al sur y al sureste del Eje Volcánico Transversal (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1991). Las tres especies más importantes en México son *Stenocereus griseus* H. denominada de manera común como pitaya de mayo; *S. queretaroensis* conocida como pitaya de Querétaro y *S. stellatus* (Esquivel, 2004).

En esta investigación se utilizará la clasificación taxonómica de *Stenocereus griseus* (Haworth) propuesta por Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada (1991). Reino Vegetal, Subreino Embrophyta, División Angiospermae, Clase Dicotiledoneae,

Orden Cactales, Familia Cactaceae, Subfamilia Cactoideae, Tribu Pachycereae, Subtribu Stenocereinae, Género *Stenocereus*, Especie *griseus*.

La pitaya de mayo (*Stenocereus griseus* H.) es una cactácea columnar originaria de México, se distingue por tener las características siguientes: plantas arborescentes con una altura de entre 6 y 9 metros, ramosas, con tronco bien definido, como de 35 cm de diámetro o ramificados desde la base. Las ramas son erectas generalmente, de color verde y con 6 costillas (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1991).

2.1.2. Características del fruto

La parte comestible del pitayo es su fruto, éstos son bayas poliespermáticas, globosas o ligeramente ovoides, de 6 a 11 cm de longitud y de 5 a 7 cm de diámetro, provistos de areolas con espinas que por lo general se desprenden al madurar el fruto. En diversas especies de pitaya el porcentaje de cáscara disminuye y el de pulpa aumenta conforme el fruto se desarrolla (Martínez-González & Cruz-Hernández, 1995). La pulpa puede ser de color blanco, amarillo, rosa, anaranjado, rojo y púrpura, es jugosa, azucarada y con numerosas semillas generalmente de color negro (García, 2011; Bravo, 1978). Los frutos que alcanzan su desarrollo completo, aun siendo de la misma especie, pueden presentar diferencias importantes en tamaño, color y composición, de acuerdo con la selección o tipo de que se trate (Corrales-García, 2003).

Martínez-González y Cruz-Hernández (1995) encontraron una amplia variabilidad en algunas características del fruto en 17 tipos diferentes de *S. griseus* colectados en la región mixteca: el peso medio del fruto varió desde 100 g (tipo Tepeyahualco) hasta 290 g (tipo Espina Negra); el contenido de sólidos solubles totales (SST) varió desde 9.9 °Brix (tipo Vidriosa) hasta 13.4 °Brix (tipo Amarilla), observando la tendencia de que a mayor SST, mayor pH.

El fruto de pitaya es un alimento fresco y dulce cuya importancia alimenticia radica en el alto contenido de azúcares y cantidades considerables de vitaminas B, C y E, y minerales como hierro, cobre y zinc (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1991); además de compuestos antioxidantes como betalaínas (Castellanos-Santiago & Yahia, 2008) y fenoles para los cuales García-Cruz et al. (2012) encontraron que la actividad antioxidante de *Stenocereus griseus* H. variedad roja fue mayor que la de la variedad naranja y el betabel. A partir de los resultados obtenidos para ácido ascórbico, fenoles totales y capacidad antioxidante, los frutos de pitaya pueden considerarse como alimento funcional, ya que además de sus nutrientes, tienen una capacidad antioxidante sobresaliente (Beltrán-Orozco, Oliva-Coba, Gallardo-Velázquez & Osorio-Revilla, 2009).

El análisis bromatológico de la pulpa de dos variedades de pitaya (*S. griseus* H.), realizado por García (2011) arrojó los resultados reportado en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Análisis bromatológico de la pulpa de dos variedades de pitaya (*Stenocereus griseus* H.).

Análisis	Variedad roja	Variedad naranja
Humedad (%)	87.1 ± 1.4	89.0 ± 1.05
Carbohidratos (%)	10.2 ± 0.24	8.5 ± 0.16
Proteína (%)	1.3 ± 0.05	1.2 ± 0.013
Extracto etéreo (%)	0.12 ± 0.001	0.10 ± 0.0
Fibra cruda (%)	0.67 ± 0.09	0.53 ± 0.02
Cenizas (%)	0.63 ± 0.11	0.61 ± 0.16

Fuente: García (2011). El porcentaje es expresado en base húmeda

Las frutas de pitaya han generado interés, buena aceptación y tienen potencial comercial en el mercado de fruta fresca por su excelente calidad, atractivo visual y propiedades organolépticas (Campos-Rojas, Pinedo-Espinoza, Campos-Montiel & Hernández-Fuentes, 2011) pero su vida de anaquel es menor a seis

días a temperatura ambiente, lo que limita su comercialización y consumo a áreas de producción local (García-Cruz, Valle-Guadarrama, Salinas-Moreno, & Luna-Morales, 2016).

2.1.3. Vida de anaquel y manejo poscosecha del fruto

Generalmente, el fruto de pitaya, se desprende de la planta una vez que alcanza su madurez fisiológica y después de cosechados los tejidos se vuelven blandos por lo que la firmeza es una característica que hay que tomar en cuenta para el manejo pre y poscosecha, además se ha observado que en la parte final del proceso de maduración se incrementan tanto el contenido de sólidos solubles totales (SST) como el pH (Cruz, 1985; Ojeda & Barrera, 1988), por tanto la combinación de estos factores contribuyen a la alta perecibilidad del fruto, el cual tiene una vida útil menor a 6 días (García-Cruz, et al., 2016).

El manejo poscosecha del fruto de pitaya es simple y aún no se ha tecnificado, el frutos se desprende de la planta una vez que alcanza su madurez de consumo, se cosecha manualmente con unas pinzas de metal o con un gancho de acero dependiendo de la altura a la que se encuentre el frutos, una vez que el fruto se separa de la planta, se colocan en botes de plástico o en canastos y se llevan a un lugar destinado para el acopio de la fruta, ahí se clasifican por tamaño y finalmente se acomodan en cajas de madera para su comercialización. Cabe mencionar que los frutos se comercializan sin retirar las espinas del fruto.

Los frutos de pitaya generalmente se consumen en fresco, debido a que presentan ciertas características como alta jugosidad, alto contenido de mucílago y delicado sabor (que se pierde con relativa facilidad en procesos térmicos) los cuales dificultan su procesamiento industrial (Corrales-García, 2003), pese a ello y aunque en cantidades mínimas, el fruto de pitaya se emplea para la preparación de aguas frescas, helados o nieves, se han elaborado mermeladas, licores, jarabes, jugos concentrados y polvos solubles y colorantes naturales (Corrales-

García, 2003). Además, se ha reportado el desarrollo de procesos tecnológicos para la elaboración de conservas a base de pitaya tales como ate y mermeladas (Emaldi, Nassar & Semprum, 2006; González, 2006) y una gelatina probiótica elaborada con jugo de pitaya (Lozano 2011).

Además se han realizado trabajos que apuntan a la conservación del fruto de pitaya en poscosecha, mediante materiales de empaque y frigoconservación (Magaña-Benítez et al., 1999); almacenamiento de frutos con espinas y sin espinas en frigoconservación (Rosas-Benítez et al., 2016) y empacado al vacío con almacenamiento a bajas temperaturas (Torralba, 2013).

2.2. Maduración y senescencia

En el desarrollo de los frutos ocurren tres etapas: crecimiento, desarrollo y maduración, seguidas por el ablandamiento y la senescencia (Alba et al., 2005).

La maduración de los frutos es un proceso que implica una serie de cambios bioquímicos, fisiológicos y estructurales, que hacen al fruto atractivo para el consumidor, en este proceso se identifican dos etapas: madurez fisiológica, que es cuando el fruto alcanza su máximo tamaño y el mayor vigor de las semillas; y la madurez de consumo, que incluye cambios en la modificación del color, modificación de la textura debida a la alteración de la turgencia celular y de la estructura de la pared celular; la modificación de azúcares, ácidos orgánicos y compuestos volátiles que afectan la calidad nutricional, el sabor y el aroma del fruto y aumento en la susceptibilidad al ataque de patógenos (Seymour, Ostergaard, Chapman, Knapp & Martin, 2013).

Finamente, después de la etapa de madurez de consumo, ocurren algunos cambios fisiológicos relacionados con la senescencia que llevan al deterioro de la membrana y a la muerte celular (Bouzayen, Latché, Nath & Pech, 2010). Durante la senescencia la síntesis de carbohidratos cesa y tiene lugar la

degradación de las proteínas, clorofilas, lípidos y ácidos nucleicos (Gapper, McQuinn & Giovannoni, 2013).

Los procesos de maduración y senescencia presentan variaciones entre unos y otros frutos (Barry & Giovannoni, 2015) por lo tanto la fisiología de la maduración se ha definido clásicamente como climatérica o no climatérica. Las frutas climatéricas muestran un aumento repentino de la respiración al inicio de la maduración que generalmente coincide con el aumento de la producción de etileno, además el etileno es necesario para desencadenar el proceso de maduración, en frutas no climatéricas no se observa un aumento en la respiración durante la maduración y no requieren del etileno para completar la maduración (Adams-Phillips, Barry & Giovannoni, 2004).

Sin embargo, muchas frutas como la guayaba, el melón, la ciruela japonesa y la pera muestran un comportamiento climatérico y no climatérico dependiendo del cultivar o el genotipo. También se ha reportado que las frutas no climatéricas responden a la aplicación exógena de etileno. Además, análisis detallados de la maduración y de los cambios relacionados con ella, especialmente en los niveles de CO₂ y de etileno como la presencia de un aumento característico en los niveles de CO₂ y una explosión en la producción de etileno, en algunas frutas no climatéricas como en fresa y uva, desafiaron la clasificación básica y revelan que la clasificación de las frutas según el aumento climatérico y/o producción de etileno no es muy clara ni perfecta (Paul, Pandey, & Srivastava, 2012).

2.2.1. Etileno

El etileno (CH₂ = CH₂) es un compuesto orgánico simple y es una hormona fisiológicamente activa en las plantas aun en cantidades mínimas. Provoca una amplia gama de efectos en las plantas, dependiendo de la edad y la sensibilidad al etileno. Los efectos del etileno pueden ser deseables o indeseables, dependiendo del producto con el que trabaje. Estos efectos incluyen: maduración

de la fruta, facilita la cosecha mecánica, inicio de la floración, cambio de la expresión sexual (aumenta las flores femeninas en las cucurbitáceas), coloración amarillenta y senescencia de los tejidos vegetativos (vegetales de hoja) y frutas inmaduras (pepino, calabaza), abscisión de hojas y senescencia rápida de la mayoría de las flores (Abu-Goukh, 2013). Por lo anterior se considera que el etileno tiene un papel doble en la poscosecha, por un lado ocasiona que los frutos adquieran características organolépticas óptimas para su consumo, pero también es responsable de la senescencia de los tejidos, generando efectos desfavorables en la calidad (Bapat et al., 2010).

El etileno es la hormona vegetal responsable de regular diferentes procesos durante la maduración de productos hortofrutícolas, llevando a procesos de senescencia y finalmente, pérdida de valor nutricional y comercial (Balaguera-López, Salamanca-Gutiérrez, García & Herrera-Arévalo, 2014). Al igual que en el caso de otras hormonas vegetales, se cree que el etileno se une a receptores específicos para formar un complejo que luego genera la maduración.

La acción del etileno puede verse afectada al alterar la cantidad de receptores o al interferir con la unión del etileno a su o sus receptores. Por lo tanto el retardo en la maduración de la fruta y la prolongación de la vida útil se puede lograr mediante diferentes procedimientos posteriores a la cosecha relacionados con la producción o acción de etileno, que incluyen: baja temperatura, exclusión y eliminación, inhibición de sus efectos y eliminación química (Abu-Goukh, 2013).

2.3. Conservación en poscosecha de productos hortofrutícolas

En general la vida máxima de almacenamiento de cualquier producto hortofrutícola cosechado depende de una gran diversidad de factores, tanto internos (historial de producción, grado de madurez al momento de la cosecha, perecibilidad, entre otros), como externos (manejo poscosecha, temperatura,

humedad relativa, composición de la atmosfera, etc.) (Magaña Benítez, Duch, Corrales-García & Saucedo-Veloz, 2013).

Así, la extensión óptima de la vida poscosecha de los productos alimenticios depende fundamentalmente de tres factores: reducción en la desecación, reducción en el proceso fisiológico que lleva a la maduración y senescencia y reducción en la incidencia y en la tasa de crecimiento microbiano (Dhall, 2013).

2.3.1. Control químico de la respuesta al etileno

El conocimiento del mecanismo de acción del etileno ha permitido generar diferentes tecnologías y procedimientos para disminuir sus efectos negativos, donde se incluye la refrigeración, uso de atmósferas modificadas y controladas, aplicación de calcio, entre otros; sin embargo, los retardantes químicos de madurez han mostrado mayor eficiencia en el control de la madurez y senescencia de frutos, hortalizas y flores (Arora, 2008).

Dentro de los retardantes químicos se encuentran el permanganato de potasio (KMnO_4) como un agente oxidante que reduce los niveles de etileno oxidándolo a CO_2 y H_2O , los iones de plata, aplicados en solución acuosa como AgNO_3 que inhiben la síntesis de etileno y el 1-metilciclopropeno (1-MCP) como un inhibidor de la acción del etileno.

1-MCP. A una temperatura y presión estándar, es un gas con un peso molecular de 54.09 g/mol con fórmula C_4H_6 , fue desarrollado y patentado por Edward Sisler y Sylvia Blankenship en 1996, para su comercialización se desarrolló tecnológicamente la formulación de un polvo estable de 1-MCP en un complejo con ciclodextrina, de modo que cuando el polvo se disuelve en agua el 1-MCP se libera fácilmente como un gas (Lurie, 2007). Los primeros trabajos y el desarrollo comercial del producto se realizaron en flores, después fue aplicado a frutos de plátano y tomate demostrando su efecto al retrasar la senescencia

natural. El producto se ha comercializado, bajo el nombre “Ethylblock™” para flores y “Smartfresh™” para frutos u hortalizas. En ambos casos, el tratamiento se basa en una aplicación gaseosa del producto en una cámara cerrada (Guillén, 2009). Este compuesto está clasificado por la Agencia de Protección del Ambiente de EUA como un regulador de la maduración, con un modo de acción inocuo para el ser humano (Blankenship & Dole, 2003).

El 1-MCP es un compuesto que ocupa los receptores del etileno de manera irreversible, bloqueando la cascada de transducción de señales que conllevan a la expresión de genes relacionados con la respuesta al etileno (In, Strable, Binder, Falbel & Patterson, 2013); la afinidad del 1-MCP- por los receptores es aproximadamente 10 veces mayor que la del etileno y se activa a concentraciones mucho más bajas (Blankenship & Dole, 2003).

El efecto general de este compuesto en los productos hortofrutícolas es el de detener o retrasar la maduración. Sin embargo, la acción buscada de este compuesto sobre hortalizas como el brócoli o la lechuga, así como en algunas frutas no climatéricas, cuya maduración o senescencia no está influenciada por el etileno, sería la ralentización de la senescencia. Para las frutas climatéricas cuya maduración depende del etileno, el éxito de este compuesto se basa en retrasar la maduración (Dou et al., 2005). Recientemente, los mejores resultados se han observado en frutos climatéricos como en manzana, aguacate, plátano, nectarina y tomate aunque en frutos no climatéricos también se han encontrado resultados favorables como en pitahaya amarilla, cítricos (retraso en el desverdizado) y en fresa (mantiene la firmeza y el color) (Lurie, 2007).

Dentro de los factores que pueden influenciar en los efectos del 1-MCP destacan la temperatura, la dosis y duración del tratamiento, el estado de maduración del fruto, la forma de recolección y el tiempo transcurrido entre la recolección y el tratamiento (Guillén, 2009). Las dosis óptimas varían entre especies, pero Blankenship y Dole (2003) reportan diferentes concentraciones y temperaturas

para la aplicación de 1-MCP, las cuales se encuentran entre 0.1 a 100 $\mu\text{L L}^{-1}$ a 20-25 °C por 6 a 24 h.

Las respuestas al 1-MCP son dependientes de la concentración y del tiempo de exposición, la especie, las características morfológicas y fisiológicas de la fruta, la variedad, el grado de madurez, las condiciones del cultivo y las condiciones del almacenamiento. Los efectos son, principalmente retardo en el ablandamiento y desarrollo del color, reducción en la actividad respiratoria, y de los efectos del etileno, pérdida de peso, ataque de hongos y retraso de otros procesos relacionados a la maduración y senescencia (Watkins, Nock & Whitaker, 2000).

El impacto del 1-MCP en la ciencia y tecnología poscosecha tiene dos aplicaciones, por un lado proporciona un potencial para mantener la calidad de productos hortofrutícolas después de cosechados, por otro es una herramienta para conocer mejor los procesos involucrados en la maduración y senescencia (Lurie, 2007).

2.3.2. Recubrimientos biodegradables

Definición. Los recubrimientos biodegradable de calidad comestible son capas finas de material de grado comestible que se aplican a la superficie del producto, además de o como reemplazo de los recubrimientos cerosos protectores naturales y para proporcionar una barrera contra los riesgos que generan las condiciones ambientales existentes como la humedad, el oxígeno y el movimiento de soluto de los alimentos (McHugh & Senesi, 2000). Se aplican directamente sobre la superficie del alimento mediante inmersión, pulverización o cepillado para crear una atmósfera modificada.

Las películas y recubrimientos comestibles se presentan a veces como sinónimos, pero se aplican de manera diferente (Figura 1). Básicamente, las

películas son estructuras independientes preformadas por separado y luego aplicadas en la superficie de los alimentos, entre los componentes de los alimentos, o incluso selladas en forma de bolsas comestibles. Los recubrimientos comestibles, se forman directamente sobre la superficie del alimento mediante inmersión, pulverización, cepillado y barrido, seguido de secado (Andrade, Skurtys & Osorio 2012).

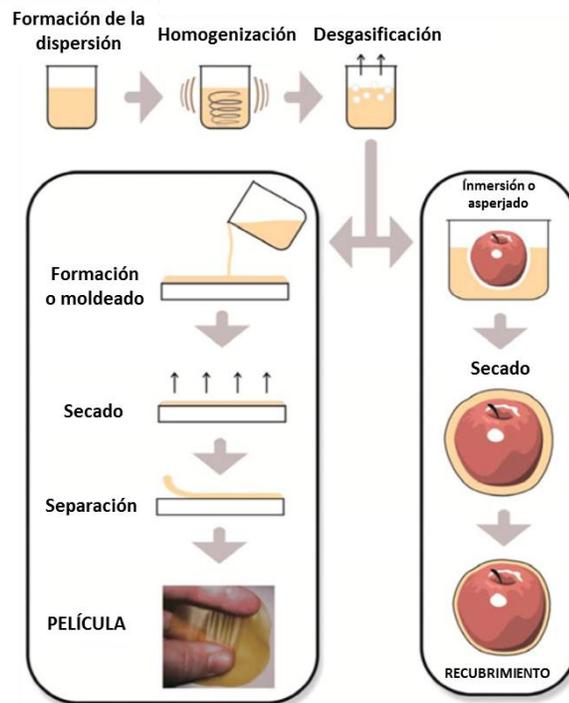


Figura 1. Representación esquemática de la formación de películas y recubrimientos.

Fuente: Adaptado de Otoni et al. (2017).

Composición y elaboración. Los recubrimientos comestibles se pueden elaborar a partir de materiales con capacidad de formar películas, pueden incluir polisacáridos, compuestos de naturaleza proteica, lipídica o por una mezcla de los mismos para obtener los mejores resultados, dependiendo de las sustancias que lo forman los recubrimientos presentan ciertas propiedades mecánicas y de barrera al agua y al CO₂ (Otoni et al., 2017).

Durante la fabricación, los materiales del recubrimiento deben dispersarse y disolverse en un disolvente como agua, alcohol, mezcla de agua y ácido, o una mezcla de otros disolventes. En este proceso se pueden agregar plastificantes, emulsificantes, agentes antimicrobianos, minerales, vitaminas, colorantes o sabores. El ajuste del pH y/o el calentamiento de las soluciones puede ser necesario para facilitar la dispersión dependiendo del polímero utilizado (Dhall, 2013). El recubrimiento se puede aplicar a los alimentos mediante varios métodos, como inmersión, pulverización, cepillado y barrido, seguidos del secado (Figura 2).

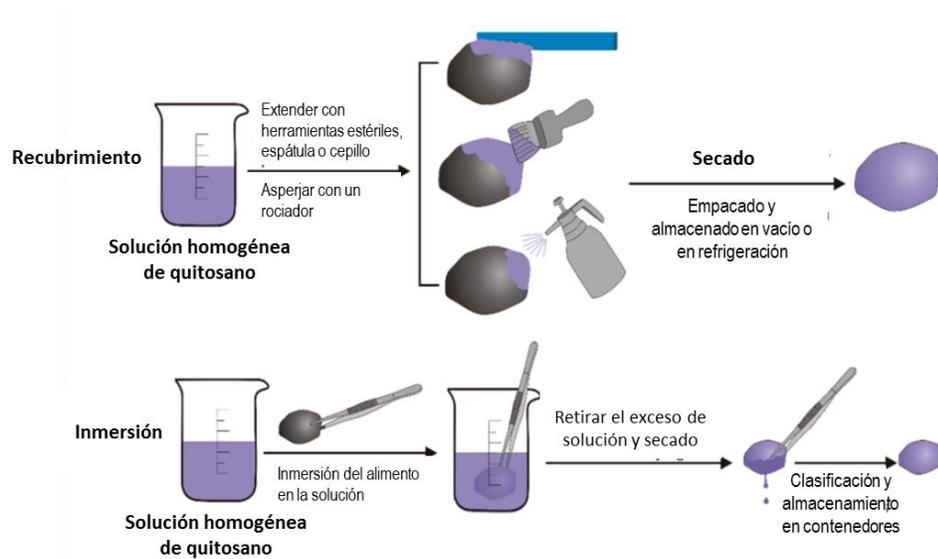


Figura 2. Métodos de aplicación de los recubrimientos.

Fuente: Adaptado de Wang et al. (2018).

Su aplicación sobre frutos, actúa como sistema protector creando una atmósfera modificada que retrasa la senescencia en frutas climatéricas y no climatéricas, ayuda a conservar la apariencia, disminuye la transpiración, la pérdida de aromas y mejora la textura (Olivas & Barbosa-Cánovas, 2005).

Los recubrimientos comestibles en frutas y verduras durante el almacenamiento controlan la transferencia de humedad, la tasa de respiración, los procesos de

oxidación y prolongan la vida útil. Los ingredientes activos pueden incorporarse en los recubrimientos comestibles y consumirse con los alimentos, mejorando la seguridad y la calidad nutricional (Dhall, 2013).

Recubrimientos a base de quitosano. Entre los distintos productos capaces de formar películas o recubrimientos biodegradables se encuentra el quitosano, el cual corresponde a un derivado de la quitina, inocuo y biodegradable (Márquez, Cartagena & Pérez-Gago, 2009) y es uno de los más utilizados, debido a sus características de maleabilidad, biocompatibilidad y a sus propiedades antimicrobianas (Rafat, Von Bargen, Hass & Hans-Georg, 2008).

El quitosano es un heteropolisacárido que se produce por la desacetilación en medio alcalino de la quitina, la cual es el segundo biopolímero natural más abundante después de la celulosa, generalmente es obtenida de las conchas de crustáceos. El quitosano es un heteropolisacárido catiónico lineal que consiste de unidades $\beta(1-4)$ -2-amino-2-deoxi-Glucosa, en realidad es un copolímero con unidades de $\beta(1-4)$ -2-acetamido-D-glucosa y $\beta(1-4)$ -2-amino-D-glucosa, y esta última generalmente excede el 60%. El quitosano se describe en términos de grado de desacetilación y peso molecular medio y su importancia reside en sus propiedades antimicrobianas junto con su estructura policationica y propiedades formadoras de película (Elsabee & Abdou, 2013). El quitosano posee una alta carga positiva en los grupos NH^+ cuando se disuelve en una solución acuosa ácida, y por lo tanto es capaz de adherirse o agregarse con lípidos y grasas con carga negativa.

El quitosano en solución en forma de recubrimiento ha mostrado eficacia contra varios hongos patógenos postcosecha, incluyendo *Aspergillus flavus*, *Phytophthora drechsleri*, *Colletotrichum capsici*, *Colletotrichum gloeosporioides* y *P. digitatum* durante pruebas *in vitro*. El modo de acción del quitosano contra los hongos, implica su capacidad de permeabilización de la membrana, la penetración en las células fúngicas y la inducción de cambios morfológicos en las

hifas fúngicas y las estructuras reproductivas (Romanazzi, Feliziani, Baños y Sivakumar, 2017). Además, se ha propuesto que la eficacia inhibitoria del quitosano contra hongos patógenos en frutas y verduras también podría estar relacionada con su capacidad para estimular los sistemas de defensa de las plantas, como la fenilalanina amoniaco liasa, enzimas relacionadas con la defensa (por ejemplo, quitinasa y β -1,3-glucanasa) y la actividad antioxidante por ejemplo la polifenol oxidasa y peroxidasa (Yuan, Chen & Li, 2016).

Ha habido muchos estudios que muestran que este excelente polímero depende de muchos factores para mostrar sus propiedades antimicrobianas, incluidas las condiciones ambientales como el pH, el tipo de microorganismo y los componentes con los que se encuentra en contacto, y sus condiciones estructurales, como el peso molecular, el grado de desacetilación, la forma derivada, su concentración y la fuente de extracción (Hosseinnejad & Jafari, 2016). Además, la actividad antimicrobiana del quitosano difiere según la naturaleza del hospedero, composición de los nutrientes, condiciones del medio ambiente y periodo de incubación del microorganismo, en el caso de los hongos, este polímero ejerce un efecto antifúngico inhibiendo la formación de esporas e hifas (Hernández-Lauzardo, Bautista-Baños, Velázquez-del Valle, Méndez-Montealvo, Sánchez-Rivera & Bello-Pérez, 2008). En contraste, la actividad antibacteriana del quitosano es más compleja y difiere entre bacterias Gram-positivas y Gram-negativas debido a la diferente composición de la superficie celular entre ambos tipos de bacterias.

Compuestos hidrofóbicos para mejorar la permeabilidad a vapor de agua de los recubrimientos a base de quitosano. Los recubrimientos de quitosano tienen una permeabilidad selectiva a los gases (CO_2 y O_2) y buenas propiedades mecánicas. Sin embargo, el hecho de que sean altamente permeables al vapor de agua limita sus usos (Vargas, Albors, Chiralt & González-Martínez, 2009). La inclusión de lípidos, ácidos grasos de cadena larga, resinas, aceites, ceras como carnauba, candelilla y cera de abejas en emulsión, por su carácter lipofílico les

permite actuar como barrera al vapor de agua, disminuyendo su permeabilidad a niveles intermedios y actuando como sistema regulador de la transpiración en vegetales (Morillon, Debeaufort, Blond, Capelle & Voilley, 2002).

Lípidos. Son recubrimientos que han mostrado buenos resultados al ser aplicados en frutos, mediante su utilización se reduce la tasa de respiración, deshidratación y mejora el brillo, además son una excelente barrera al vapor de agua, sin embargo, son frágiles y friables, por lo que se han aplicado en combinación con una matriz de soporte no lipídica.

Ácido oléico. El ácido oléico es un ácido graso monoinsaturado que se ha utilizado para modificar y favorece las propiedades mecánicas y de barrera de las películas comestibles y de los recubrimientos (Fabra, Talens & Chiralt, 2009). Vargas et al. (2009), encontraron que la adición de ácido oléico a la matriz de quitosano conduce a un aumento significativo del brillo y la translucidez y a un aumento de la resistencia a la rotura de las películas.

Cera de candelilla. La cera de candelilla se extrae de la planta silvestre *Euphorbia antisyphilitica*, se compone principalmente de hidrocarburos (50 %) y una cantidad relativamente baja de ésteres volátiles, en su forma cruda, la cera de candelilla es de color café y cambia a un color amarillo claro una vez refinada, es de estructura amorfa y su dureza es de un grado intermedio entre la de la cera de carnauba y la de abeja. La proporción de sus componentes determina la dureza, permeabilidad al agua, brillo y otras características propias de la cera. Una de las principales ventajas de la cera de candelilla en el uso de recubrimientos para frutos u hortalizas es su alta permeabilidad al O₂ y CO₂ (Bósquez, 2003).

Cera de carnauba. Se obtiene de las hojas de la palma *Copernicia cerífera*, es reconocida por sus propiedades para dar brillo, contiene ésteres, alcoholes, resinas y ácidos libres principalmente. En una investigación realizada por Dos

Santos (2017), la cera de carnauba se incorporó al 0, 15, 30, 40 y 50% (p / p) en soluciones para la formación de películas. La opacidad aumentó con concentraciones más altas de cera. La permeabilidad al vapor de agua disminuyó de $2.73 \text{ g mm kPa}^{-1}\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ (0 % de cera) a $0.77 \text{ g mm kPa}^{-1}\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ (40 % de cera).

Cera de abeja. Es secretada por las abejas durante el proceso de construcción de sus panales. La cera de abeja cruda se obtiene fundiendo los panales y filtrando. Contiene ácidos libres, ésteres y otros componentes naturales que le dan características especiales, tales como propiedades emulsificantes, plasticidad, compatibilidad con otros productos naturales y olor agradable. Velickova, Winkelhausen, Kuzmanova, Alves y Moldão-Martins (2013), utilizaron recubrimientos comestibles a base de quitosano y cera de abeja para prolongar la vida útil de las fresas almacenadas a 20°C y 40 % HR, sus resultados fueron que los recubrimientos evaluados disminuyeron significativamente la senescencia y la pérdida de peso de los frutos. Modificaron las tasas de respiración de las fresas y mantuvieron el color y la textura del tejido.

2.4. Literatura citada

- Abu-Goukh, A. B. A. (2013). 1-methylcyclopropene (1-MCP) a breakthrough to delay ripening and extend shelf-life of horticultural crops. *Journal of Agricultural Science (University of Tabriz)*, 21, 170–196.
- Adams-Phillips, L., Barry, C., & Giovannoni, J. (2004). Signal transduction systems regulating fruit ripening. *Trends in Plant Science*, 9, 331–338. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.05.004>
- Alba, R., Payton, P., Fei, Z., McQuinn, R., Debbie, P., Martin, G. B., & Giovannoni, J. J. (2005). Transcriptome and selected metabolite analyses reveal multiple points of ethylene control during tomato fruit development. *The Plant Cell*, 17, 2954-2965.
- Andrade, R. D., Skurtys, O., & Osorio, F. A. (2012). Atomizing spray systems for application of edible coatings. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11, 323–37. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2012.00186.x>.
- Arora, A. (2008). Biochemistry of flower senescence. In: Paliyath, G., Murr, D., Handa, A., & Lurie S. (Eds.). *Postharvest biology and technology of fruits, vegetables, and flowers*. (pp. 51-85). New Delhi, India. Wiley-Blackwell.
- Balaguera-López, H. E., Salamanca-Gutiérrez, F.A., García, J. C., & Herrera-Arévalo, A. (2014). Etileno y retardantes de la maduración en la poscosecha de productos agrícolas. Una revisión. *Ciencias Hortícolas*, 8, 302-313.
- Bapat, V.A., Trivedi, P.K., Ghosh, A., Sane, V.A., Ganapathi, T.R., & P. Nath. (2010). Ripening of fleshy fruit: Molecular insight and the role of ethylene. *Biotechnology Advances*, 28, 94-107. Doi: 10.1016/j.biotechadv.2009.10.00.
- Barry, C. S., & Giovannoni, J. J. (2015). Ethylene and Fruit Ripening. *Journal of Plant Growth Regulation*, 26, 727–739. <https://doi.org/10.1007/s00344-007-9002>
- Beltrán-Orozco, M. C., Oliva-Coba, T. G., Gallardo-Velázquez, T., & Osorio-Revilla, G. (2009). Ácido ascórbico, contenido fenólico, y capacidad antioxidante de las variedades roja, cereza, amarilla y blanca del fruto del cactus de la pitaya (*Stenocereus stellatus* Riccobono). *Agrociencia*, 43, 153-162.
- Blankenship, S. M., & Dole, J. M. (2003). 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biology and Technology*, 28, 1-25
- Bouzayen, M., Latché, A., Nath, P., & Pech, J. C. (2010). Mechanism of fruit ripening. In Pua, E. C., & Davey, M. R. (Eds.), *Plant developmental biology-biotechnological perspectives* (pp.319-339). Berlin, Germany. Springer-Verlag.
- Bósquez, E. (2003). Elaboración de recubrimientos comestibles formulados con goma de mezquite y cera de candelilla para reducir la cinética de deterioro en fresco del limón persa (*Citrus latifolia* tanaka), (Tesis doctoral en Ciencias

- Biológicas, Dpto. Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, México, D.F).
- Bravo-Hollis, H. (1978). Las cactáceas de México. Vol. I. México. UNAM.
- Bravo-Hollis, H., & Sánchez-Mejorada. (1991). Las cactáceas de México. Vol. III. (3ª ed.). México. UNAM.
- Campos-Rojas, E., Pinedo-Espinoza, J. M., Campos-Montiel, R. G., & Hernández-Fuentes, A. D. (2011). Evaluación de plantas de pitaya (*Stenocereus spp*) de poblaciones naturales de Monte Escobedo, Zacatecas. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17, 173–181.
- Castellanos-Santiago E., & Yahia E M. (2008). Identification and quantification of betalains from the fruits of 10 Mexican prickly pear cultivars by high-performance liquid chromatography and electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 5758-5764.
- Corrales-García, J. (2003). Caracterización, poscosecha, aprovechamiento e industrialización de pitayas y pitahayas. México. Universidad Autónoma Chapingo/CIESTAAM.
- Cruz, H. J. P. (1985). Caracterización del fruto de 4 tipos de pitaya (*Stenocereus stellatus* Riccobono). (Tesis de Maestría, Centro de Fruticultura, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México).
- Dhall, R. K. (2013). Advances in Edible Coatings for Fresh Fruits and Vegetables: A Review. *Critical Reviews, Food Science and Nutrition*, 53, 435–450. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.541568>
- Dou, H., Jones, S., & Ritenour, M. (2005). Influence of 1-MCP application and concentration on post-harvest peel disorders and incidence of decay in citrus fruit. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 80, 86-92.
- Elsabee, M. Z., & Abdou, E. S. (2013). Chitosan based edible films and coatings: A review. *Materials Science and Engineering*, 33, 1819–1841. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2013.01.010>
- Emaldi, U., Nassar, J. M., & Semprum, C. (2006). Pulpa del fruto del cardón dato (*Stenocereus griseus*, Cactaceae) como materia prima para la elaboración de mermelada. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 56, 83-89.
- Esquivel, P. (2004). Los frutos de las cactáceas y su potencial como materia prima. *Agronomía mesoamericana*, 15, 215-219.
- Fabra, M. J., Talens, P., & Chiralt, A. (2009). Microstructure and optical properties of sodium caseinate films containing oleic acidebeeswax mixtures. *Food Hydrocolloids*, 23, 676-683.
- Gapper, N. E., McQuinn, R. P., & Giovannoni, J. J. (2013). Molecular and genetic regulation of fruit ripening. *Plant Molecular Biology*, 82, 575- 591.
- García, C. L. (2011). Análisis de betalainas presentes en pitaya de mayo (*Stenocereus griseus* H.). (Tesis profesional. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. México).
- García-Cruz, L., Salinas-Moreno, Y., & Valle-Guadarrama, S. (2012). Betalaínas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en pitaya de mayo (*Stenocereus griseus* H.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35, 1-5.

- García-Cruz, L., Valle-Guadarrama, S., Salinas-Moreno, Y., & Luna-Morales, C. del C. (2016). Postharvest quality, soluble phenols, betalains content, and antioxidant activity of *Stenocereus pruinosus* and *Stenocereus stellatus* fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 111, 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.07.004>
- González, C. I. (2006). Desarrollo y aplicación de procesos tecnológicos para la elaboración de conservas a base de pitaya (*Stenocereus* spp.) de la región mixteca. b profesional, Universidad Tecnológica de la Mixteca, Oaxaca. México.
- Guillén, F. (2009). 1-MCP como estrategia de conservación. *Horticultura internacional*, 69, 18-24.
- Hernández-Lauzardo, A. N., Bautista-Baños, S., Velázquez-del Valle, M. G., Méndez-Montealvo, M. G., Sánchez-Rivera, M. M., & Bello-Pérez, L. A. (2008). Antifungal effects of chitosan with different molecular weights on in vitro development of *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.:Fr.) Vuill. *Carbohydrate Polymers*, 73, 541–547.
- Hosseinnejad, M., & Jafari, S. M. (2016). Evaluation of different factors affecting antimicrobial properties of chitosan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 85, 467–475. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.01.022>
- In, B. C., Strable, J., Binder, B. M., Falbel, T. G., & Patterson, S. E. (2013). Morphological and molecular characterization of ethylene binding inhibition in carnations. *Postharvest Biology and Technology*, 86, 272–279. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.07.007>
- Lozano, P. L. M. C. (2011). Estudio de la viabilidad de *Lactobacillus casei* Shirota en una gelatina de pitaya (*Stenocereus griseus* H.). (Tesis de maestría, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. IPN. México D. F).
- Luna, M., C. C. (2007). Ordenación y clasificación morfológica del fruto de cultivares mixtecos de pitaya (*Stenocereus pruinosus*) en México. *Agrociencia*, 11, 10 – 16.
- Lurie, S. (2007). 1-MCP in Post-harvest : Physiological Mechanisms of Action and Applications. *Fresh Produce, Global Science Books*, 1, 4-15. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2007.12.004>
- Magaña-Benítez. W., Corrales-García. J., Colinas-León. T., & Cruz-Hernández. P. (1999). Materiales de empaque y temperaturas de frigoconservación en pitaya (*Stenocereus queretaroensis*). *Horticultura mexicana*, 7, 426-430.
- Magaña-Benítez, W., Duch, D., Corrales-García, J. E., & Saucedo-Veloz, C. (2013). Variaciones bioquímicas-fisiológicas y físicas de las frutas de pitahaya (*Hylocereus undatus*) almacenadas en ambiente natural. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 14, 21-30
- Márquez, C. C. J., Cartagena, V. J. R., & Pérez-Gago, M. B. (2009). Efecto de recubrimientos comestibles sobre la calidad en poscosecha del níspero japonés (*Eriobotrya japonica* T.). *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica* 16, 304-310.

- Martínez-González, J. C., & Cruz-Hernández, J. P. (1995). Caracterización de frutos de pitaya *Stenocereus griseus* H. en la mixteca. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 4, 77–81.
- McHugh TH, & Senesi E. (2000). Apple wraps: A novel method to improve the quality and extend the shelf life of fresh-cut apples. *Journal of Food Science* 65, 480–485. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb16032.x>
- Mizrahi, Y., Nerd, A., & Nobel, P.S. (1997). Cacti as crops. *Horticultural Reviews*. 18, 291-320.
- Morillon, Debeaufort, Blond, Capelle, & Voilley. (2002). Factors affecting the moisture permeability of lipid edible films: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 42, 67–89.
- Ojeda C.; A. J., & M. Barrera L. (1988). Caracterización química del fruto del pitayo *Stenocereus thurberi* y su potencial de industrialización. (Tesis Profesional. Departamento de Ciencias Químicas y Biológicas, Universidad de Sonora. Sonora, México).
- Olivas, G. I., & Barbosa-Cánovas G. V. (2005). Edible Coatings for Fresh-Cut Fruits. *Journal Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45, 657-670. <https://doi.org/10.1080/10408690490911837>.
- Otoni, C. G., Avena-Bustillos, R. J., Azeredo, H. M. C., Lorevice, M. V., Moura, M. R., Mattoso, L. H. C., & McHugh, T. H. (2017). Recent Advances on Edible Films Based on Fruits and Vegetables—A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16, 1151–1169. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12281>
- Paul, V., Pandey, R., & Srivastava, G. C. (2012). The fading distinctions between classical patterns of ripening in climacteric and non-climacteric fruit and the ubiquity of ethylene—An overview. *Journal of Food Science and Technology*, 49, 1–21. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0293-4>
- Rafat, D., Von Barga, K., Hass, A., & Hans-Georg, S. (2008). Insights into the mode of action of chitosan as antibacterial compound. *Applied Environmental Microbiology*. 74, 3764-3773.
- Romanazzi, G., Feliziani, E., Baños, S. B., & Sivakumar, D. (2017). Shelf life extension of fresh fruit and vegetables by chitosan treatment. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57, 579–601.
- Rosas-Benítez, A., Trujillo-Cárdenas, L., Valle-Guadarrama, S., Salinas-Moreno, Y., & García-Cruz, L. (2016). Quality attributes of pitaya (*Stenocereus pruinosus*) fruit handled in postharvest with and without thorns under refrigerated storage. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, XXII, 191–207. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.04.011>
- Seymour, G. B., Ostergaard, L., Chapman, N. H., Knapp, S., & Martin, C. (2013). Fruit development and ripening. *Annual Review of Plant Biology*, 64, 219-241.
- Torralba, G. A. (2013). Efecto del empaquetado al vacío y del almacenamiento a bajas temperaturas sobre las características fisicoquímicas y

- microbiológicas de la pitaya (*Stenocereus pruinosus*). (Tesis profesional Universidad Tecnológica de la Mixteca. Oaxaca, México).
- Vargas, M., Albors, A., Chiralt, A., & González-Martínez, C. (2009). Characterization of chitosan-oleic acid composite films. *Food Hydrocolloids*, 23, 536–547. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.02.009>.
- Velickova, E., Winkelhausen, E., Kuzmanova, S., Alves, V. D., & Moldão-Martins, M. (2013). Impact of chitosan-beeswax edible coatings on the quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa* cv Camarosa) under commercial storage conditions. *LWT - Food Science and Technology*, 52, 80–92. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.02.004>
- Wang, H., Qian, J., & Ding, F. (2018). Emerging Chitosan-Based Films for Food Packaging Applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66, 395–413. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04528>
- Watkins, C.B., Nock, J.F., & Whitaker, B.D. (2000). Responses of early, mid and late season apple cultivars to postharvest application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) under air and controlled atmosphere storage conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 19, 17-32.
- Yuan, G., Chen, X., & Li, D. (2016). Chitosan films and coatings containing essential oils: The antioxidant and antimicrobial activity, and application in food systems. *Food Research International*, 89, 117–128. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.004>

3. EVALUACIÓN DE RECUBRIMIENTOS BIODEGRADABLES A BASE DE QUITOSANO Y COMPONENTES HIDROFÓBICOS

Resumen

La pitaya es un fruto exótico, con gran potencial comercial en mercados nacionales y extranjeros, sin embargo, sólo se puede almacenar en condiciones aceptables por 3 o 4 días a temperatura ambiente. La vida útil de otros productos hortofrutícolas, se ha prolongado con la aplicación de películas ó recubrimientos a base de quitosano, sin embargo su uso es restringido por su naturaleza hidrofílica, por lo que las películas y recubrimientos presentan baja permeabilidad al vapor de agua (PVA). Por ello el objetivo de esta investigación fue mitigar el carácter hidrofílico del recubrimiento de quitosano adicionando por separado cuatro componentes hidrofóbicos (ácido oléico, ceras de carnauba, candelilla y abeja), luego los recubrimientos formados se evaluaron en términos de su capacidad para reducir pérdida fisiológica de peso (Pfp) en frutos de pitaya almacenados en un ambiente con HR controlada y mediante una prueba *in vitro* por el método de dilución en agar se evaluó la capacidad de los recubrimientos para reducir el crecimiento de micelio del hongo patógeno responsable del deterioro de la pitaya. De la metodología de superficie de respuesta, se obtuvo que la proporción de ácido oléico – quitosano identificada como óptima para minimizar la pérdida de peso de pitaya almacenada 12 días a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR fue de 0.63 % v/v y 0.9 % p/v respectivamente, Los recubrimientos de quitosano adicionados con un componente hidrofóbico impidieron que la pérdida fisiológica de peso fuera mayor al 2.5 %. El hongo patógeno identificado fue *Alternaria alternata*, los recubrimientos elaborados con 0.63 % v/v de ácido oléico y 0.9 % p/v de quitosano, así como el recubrimiento con cera de candelilla tuvieron mayor efectividad en la inhibición del crecimiento de micelio de este hongo.

Palabras clave: pitaya, recubrimiento, hidrofóbico, *Alternaria alternata*, pérdida fisiológica de peso.

EVALUATION OF BIODEGRADABLE COATINGS BASED ON CHITOSAN AND HYDROPHOBIC COMPONENTS

Abstrac

The pitaya is an exotic fruit, with great commercial potential in domestic and foreign markets, however, it can only be stored in acceptable conditions for 3 or 4 days at room temperature. The shelf life of other horticultural products has been prolonged with the application of films or coatings based on chitosan, however its use is restricted due to its hydrophilic nature, so that the films and coatings have low water vapor permeability (WVP). Therefore, the objective of this research was to mitigate the hydrophilic nature of the chitosan coating by adding four hydrophobic components separately (oleic acid, carnauba, candelilla and bee waxes), then the coatings formed were evaluated in terms of their capacity to reduce physiological loss of weight in pitaya fruits stored in an environment with controlled RH and by means of an *in vitro* test by the method of dilution in agar the capacity of the coatings was evaluated to reduce the mycelial growth of the pathogenic fungus responsible for the deterioration of the Pitaya. From the response surface methodology, it was obtained that the proportion of oleic acid - chitosan identified as optimal to minimize the weight loss of pitaya stored 12 days at 11 ± 1 °C and 93 ± 2 % RH was 0.63 % v/v and 0.9 % p/v respectively, Chitosan coatings added with a hydrophobic component prevented the physiological weight loss from being greater than 2.5%. The identified pathogenic fungus was *Alternaria alternata*, the coatings elaborated with 0.63 % v/v of oleic acid and 0.9 % p/v of chitosan, as well as the coating with wax of candelilla were more effective in inhibiting the mycelial growth of this fungus.

Key words: pitaya, coating, hydrophobic, *Alternaria alternata*, physiological weight loss.

3.1. Introducción

Los frutos de pitaya son considerados exóticos y tienen gran potencial para ser comercializados en mercados nacionales y extranjeros, ya que éstos registran un gran dinamismo en demanda de frutas tropicales y exóticas (Santacruz, Santacruz & Huerta, 2009). Sin embargo, actualmente la pitaya se comercializa en mercados cercanos al lugar de producción, debido a que sólo se pueden almacenar en condiciones aceptables por 3 o 4 días a temperatura ambiente, por lo que se asumen como frutos altamente perecederos (Corrales-García, 2003), además la presencia de espinas resulta agresiva para los consumidores pero al retirarlas se afecta el proceso de senescencia. Rosas-Benítez, Trujillo-Cárdenas, Valle-Guadarrama, Salinas-Moreno y García-Cruz (2016), encontraron que la remoción de espinas de los frutos afecta la tasa de pérdida de peso del fruto hasta 43.8 % (almacenados a 12 °C por 21 días y 76 % HR) respecto a frutos con espinas.

De manera general, en los frutos la pérdida de agua se da principalmente por el proceso físico de transpiración, y ésta es una causa de deterioro no sólo porque provoca pérdidas cuantitativas directas (pérdida de peso vendible), sino también pérdidas en la apariencia, en la calidad de textura y calidad nutricional. Esto puede ser controlado aplicando tratamientos al producto o manipulando el ambiente (Kader, 2002).

Actualmente, una técnica para la conservación de productos hortofrutícolas usada ampliamente es la aplicación de películas y recubrimientos biodegradables con el fin de mantener sus atributos en poscosecha. El uso del quitosano como base para la elaboración de películas y recubrimientos biodegradables para productos hortofrutícolas, ha sido posible debido a su capacidad para formar películas (Aguirre-Loredo, Rodríguez-Hernández & Chavarría-Hernández, 2014) y por sus propiedades biológicas y físicas de biocompatibilidad, biodegradabilidad y actividad antimicrobiana (Wang, Qian & Ding, 2018).

Diversos investigadores han observado que las películas de quitosano presentan propiedades mecánicas adecuadas y baja permeabilidad al oxígeno, sin embargo, debido a su naturaleza hidrofílica, tienden a retener el agua en su estructura por lo que presentan una baja permeabilidad al vapor de agua (PVA) (Elsabee & Abdou, 2013; Pereda, Amica & Marcovich, 2012). Actualmente se ha estudiado la incorporación de compuestos hidrofóbicos como ácidos grasos, aceites vegetales, aceites esenciales y ceras (Aguirre-Loredo et al., 2014; Bonilla, Atarés, Vargas & Chiralt, 2012) a las películas y recubrimientos a base de quitosano; estos componentes disminuyen la PVA mientras que la matriz formada por el polisacárido proporciona propiedades mecánicas a la película como fuerza de tensión, extensibilidad y flexibilidad (Wang et al., 2018).

Con base en un ensayo preliminar realizado durante la cosecha de pitaya de abril a junio de 2017 en el cual se evaluó el uso de un recubrimiento elaborado solamente con quitosano se presentó una pérdida fisiológica de peso (Pfp) con valores de hasta 18 % durante 12 días de almacenamiento a 11 ± 1 °C y 80 ± 5 % HR. El resultado se atribuyó, principalmente a las características hidrofílicas del recubrimiento y a la baja humedad relativa (HR) del ambiente. Adicionalmente, se observó que la vida de anaquel estuvo determinada por la presencia de un hongo patógeno. Por ello, el objetivo de esta fase de la investigación fue mitigar el carácter hidrofílico del recubrimiento de quitosano adicionando por separado cuatro componentes hidrofóbicos que fueron seleccionados en ensayos preliminares (ácido oléico, ceras de carnauba, candelilla y abeja) y luego evaluar los recubrimientos formados en términos de permeabilidad a vapor de agua y de su capacidad para reducir pérdida fisiológica de peso (Pfp) en frutos de pitaya almacenados en un ambiente con HR controlada.

3.2. Materiales y métodos

De acuerdo con los resultados de Pfp, firmeza y vida de anaquel del experimento preliminar, en el cual se aplicó recubrimiento de quitosano con la formulación especificada en el Cuadro 2 se propuso adicionar elementos hidrofóbicos a la formulación del recubrimiento y controlar la humedad relativa del ambiente de almacenamiento.

Cuadro 2. Materiales del recubrimiento biodegradable aplicado en el experimento preliminar y su concentración.

Componente	Concentración
Ácido láctico (% v/v)	1.0
Quitosano (% p/v)	1.0
Glicerol (% v/v)	0.5
Tween® 80 (% p/v)	0.1

3.2.1. Materiales

Para la elaboración de los recubrimientos biodegradables, se usó como materia prima base quitosano comercial con grado de desacetilación del 85 % (Sigma-Aldrich® Química, S.A. de C.V.); en las concentraciones determinadas por cada uno de los tratamientos, se adicionó 1 % v/v de ácido acético glacial (99 %, reactivo grado analítico); 0.5 % v/v glicerol como agente plastificante y 0.1 % p/v de monooleato de polioxietileno(20)sorbitano (Tween® 80) como emulsificante.

3.2.2. Optimización de la proporción quitosano – ácido oléico

Mediante un diseño experimental central compuesto (DCC) y la aplicación de la metodología de superficie de respuesta (MSR) se determinó la proporción óptima de quitosano y ácido oléico para obtener la mínima pérdida de peso en pitaya desespinaada, almacenada durante 12 días a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR.

Se siguió un DCC con dos variables (Box, Hunter & Hunter, 1978) y la MSR, técnica que permite observar una respuesta mediante una superficie, cuando el experimento investiga los efectos de factores cuantitativos en los valores que toma la variable de respuesta (Montgomery, 2002). En esta técnica cada factor $x_i = (i = 1; 2)$ tiene tres clases de puntos experimentales: puntos factoriales, puntos centrales y puntos axiales (Cuadro 3). Mediante los resultados obtenidos en las pruebas preliminares, se identificó la región de respuesta óptima y se consideró alcanzar el valor mínimo en las variables respuesta Pfp en fruto y permeabilidad a vapor de agua (PVA) de las películas preformadas.

Cuadro 3. Variables explicativas, concentración de ácido oléico y quitosano en niveles codificados y naturales del DCC.

Puntos experimentales	Niveles codificados	Variable	
		Ácido oléico [% v/v]	Quitosano [% p/v]
1 ^{ωz}	(-1,-1)	0.5	0.5
2 ^ω	(-1,1)	0.5	1.5
3 ^ω	(1,-1)	0.9	0.5
4 ^ω	(1,1)	0.9	1.5
5 ^{λy}	(0,0)	0.7	1
6 ^λ	(0,0)	0.7	1
7 ^λ	(0,0)	0.7	1
8 ^λ	(0,0)	0.7	1
9 ^λ	(0,0)	0.7	1
10 ^{δx}	(-1.414,0)	0.4	1
11 ^δ	(1.414,0)	1	1
12 ^δ	(0,1.414)	0.7	1.71
13 ^δ	(0,-1.414)	0.7	0.29

Nota: ^z Puntos factoriales; ^y Puntos centrales; ^x Puntos axiales.

El análisis estadístico realizado fue ejecutado mediante los paquetes estadísticos Minitab® y Statistical Analysis System (SAS, 2002), versión 9.0.

3.2.3. Elaboración del recubrimiento de quitosano adicionado con ácido oléico

Las emulsiones se prepararon mediante la dispersión de quitosano (concentraciones indicadas en el Cuadro 3) en una solución acuosa de ácido acético (1 % v/v) y agua destilada a una temperatura de 23 ± 2 °C, mediante agitación constante a 1100 rpm con un agitador magnético, posteriormente se añadieron 0.5 % v/v de glicerol, 0.1 % p/v de Tween® 80 y finalmente la cantidad indicada de ácido oléico (Cuadro 3). Finalmente, la mezcla se homogeneizó con un equipo Ultra-turrax (modelo T50 digital, IKA® Labortechnik, Staufen, Alemania) a 2200 rpm durante 15 min. Las emulsiones preparadas, se utilizaron como recubrimiento en frutos de pitaya mediante inmersión del fruto durante 30 s y para elaborar películas preformadas.

3.2.4. Preparación y evaluación de películas preformadas

Se vaciaron 15 mL de emulsión en cajas de Petri de 9 cm de diámetro, colocadas sobre una superficie plana y nivelada, se dejaron secar a temperatura ambiente (23 ± 2 °C y 52 % HR) durante 24 h, transcurrido este tiempo, las cajas Petri se introdujeron en una estufa con convección de aire a una temperatura de 35 °C durante 24 h para lograr homogeneidad en el secado. Las películas formadas se separaron de la caja Petri y se guardaron para su uso posterior en un desecador que contenía silica gel.

Espesor. Se midió en cinco puntos diferentes de cada una de las películas, la medición se realizó mediante un micrómetro digital (H-2780 Mitutoyo). El espesor de cada película se calculó como la media aritmética (n=5) de las lecturas registradas.

Permeabilidad a vapor de agua (PVA). El procedimiento general para evaluar la PVA se realizó de acuerdo con el método de prueba estándar ASTM E96, sin embargo, McHugh, Avena -Bustillos, y Krochta (1993) plantearon modificaciones al método para películas hidrofílicas, por lo que se aplicaron ambas metodologías con ligeras modificaciones. Para conseguir una humedad relativa de 0 % HR, se preparó un desecador que contenía silica gel a una temperatura de 25 °C. Posteriormente se prepararon las celdas de permeabilidad, se utilizaron celdas circulares de 29 mm de diámetro interno, a las cuales se añadieron 25 mL de agua destilada y se fijaron en ellas las películas preformadas (se eligieron las que no presentaron defectos físicos como grietas, burbujas o agregados en la superficie de la celda). De cada una de las celdas de permeabilidad se midió la altura entre el nivel del líquido y la película y se registró su peso usando una balanza analítica con precisión de 0.0001 g. Después, las celdas de permeabilidad se introdujeron en el desecador preparado previamente y cada hora durante 24 horas se registró el peso de cada celda.

La PVA de cada una de las películas preformadas se calculó mediante la Ecuación (1).

$$PVA = \frac{vtva \cdot e}{\Delta P_v} \quad (1)$$

Donde: PVA es la permeabilidad al vapor de agua ($\text{g s}^{-1}\text{m}^{-1}\text{Pa}^{-1}$); vtva es la tasa de transmisión de vapor de agua ($\text{g m}^{-2}\text{s}^{-1}$) calculada de acuerdo a la Ecuación (2); e es el espesor de la película (m) y ΔP_v es la diferencia de presiones parciales de vapor (Pa), para su determinación se realizaron los cálculos indicados en la Ecuación (3).

La vtva de agua se calculó mediante el cociente entre el valor de la pendiente de la recta tiempo vs pérdida de peso de las celdas de permeabilidad y el área de la película expuesta a la transferencia de vapor de agua.

$$vtva = \frac{\Delta m}{A \cdot \Delta t} \quad (2)$$

Donde: Δm es la pérdida de peso de las celdas de permeabilidad (g); A es el área de la película expuesta a la transferencia de vapor (m^2) y Δt es el tiempo de la prueba (s).

$$\Delta P_v = P_{v_i} - P_{v_e} \quad (3)$$

Donde: P_{v_e} es la presión parcial del vapor de agua por encima de la película (Pa). Para determinar el valor de P_{v_i} para películas hidrofílicas debemos conocer la humedad relativa exacta debajo de la película y para ello usamos la presión de vapor de agua corregida McHugh et al. (1993) indicada en la Ecuación (4).

$$P_{v_i} = (P_a - P_v^*) \exp \frac{vtva \cdot R \cdot T \cdot Z}{P_a \cdot D} \quad (4)$$

Donde: P_{v_i} es la presión de vapor en la superficie interior de la película (Pa); P_a es la presión atmosférica (Pa); P_v^* es la presión de vapor en la superficie del agua o presión de vapor saturado (Pa), $P_v^* = 4.84T^2 - 52.24T + 1449.63$ (T en °C); $vtva$ flujo de agua en la capa de aire ($mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$); R es la constante universal de los gases ($8.314472 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$); T es la temperatura (K); Z es la altura de la capa de aire (m) y D es la difusividad del agua en el aire ($m^2 \cdot s^{-1}$), $D = 22.441 \times 10^{-13} T^{2.8696}$ (T en K).

3.2.5. Evaluación de recubrimientos a base de quitosano y cera de carnauba, candelilla y abeja en frutos de pitaya

El experimento 2, consistió en elaborar y evaluar tres recubrimientos a base de quitosano, adicionado con uno de los tres tipos de ceras siguientes: cera de carnauba, cera de candelilla y cera de abeja. La evaluación se realizó mediante respuestas fisiológicas (P_{fp} , tasa de respiración y evolución de la producción de etileno) y de atributos de calidad (firmeza, color en cáscara, SST, pH y acidez

titulable) que presentaron frutos de pitaya en poscosecha, desespinaados, almacenados durante 12 días en frigoconservación (11 ± 1 °C) y HR controlada (93 ± 2 % HR) con relación a la aplicación de los recubrimientos.

Se usó un modelo mixto (Cadena & Castillo, 2002; Correa, 2004) con cuatro repeticiones y la asignación de los tratamientos fue bajo un esquema completamente al azar, cada unidad experimental estuvo formada por dos frutos, los tratamientos fueron frutos con recubrimiento de: quitosano + cera de carnauba (Q-Cc), quitosano + cera de candelilla (Q-Cd) y quitosano + cera de abeja (Q-Ca). Los datos se analizaron estadísticamente mediante un análisis de varianza y prueba de comparación de medias Tukey-Kramer $P \leq 0.05$.

3.2.6. Elaboración y aplicación de recubrimientos de quitosano adicionado con ceras.

Los recubrimientos se prepararon dispersando el quitosano (1 % p/v) en una solución acuosa de ácido acético (1 % p/v) a una temperatura de 23 ± 2 °C. Se agregó glicerol (0.5 % v/v) y Tween® 80 (0.3 % p/v). La dispersión se calentó a 85 °C, se adicionó 0.5 % (p/v) de la cera correspondiente y fue homogeneizada con un equipo Ultra-turrax (modelo T50digital, IKA® Labortechnik, Staufen, Alemania) a 2800 rpm durante 15 min. La emulsión obtenida se dejó enfriar a temperatura ambiente para su uso posterior. Los recubrimientos se aplicaron mediante inmersión del fruto en la emulsión del recubrimiento durante 30 s y se dejaron secar.

3.2.7. Evaluación de los recubrimientos *in vivo*

Los frutos de pitaya (*Stenocereus griseus* H.) fueron colectados en la localidad de Dolores Hidalgo, Santa Clara Huitziltepec, Puebla ($18^{\circ} 51' 06''$ LN, $97^{\circ} 55' 00''$ LO; 1920 msnm), de los cuales se seleccionaron 168 con base en su tamaño comercial (140 ± 20 g) y libres de defectos físicos. Se desespinaaron manualmente

y se desinfectaron en una solución de NaClO (250 ppm) por 5 minutos, se escurrieron y secaron con toallas de papel absorbente.

Tasa de respiración y producción de etileno. La tasa de respiración ($mL_{CO_2} Kg^{-1} h^{-1}$) y la producción de etileno ($\mu L_{C_2H_4} Kg^{-1} h^{-1}$) de los frutos de pitaya se evaluaron mediante un método estático (Tovar, García & Mata, 2001). El análisis de los gases se llevó a cabo por cromatografía de gases utilizando un cromatógrafo (Agilent Technologies-7890B®) con dos detectores en serie, TCD (Diferencial de Conductividad Térmica) para determinar CO₂ y FID (Ionización de flama) para determinar etileno. Se utilizó nitrógeno como gas portador. Las temperaturas del método de trabajo utilizado son las siguientes: temperatura de la columna: 100 °C, temperatura del inyector: 120 °C, temperatura del detector FID: 150 °C, temperatura del detector TCD: 180 °C. Con estándares comerciales (INFRA®, México) se hicieron curvas de calibración para obtener las concentraciones de CO₂ y C₂H₄ en las muestras analizadas.

Pérdida fisiológica de peso (Pfp). La Pfp de las pitayas fue medida durante el almacenamiento. Los frutos se pesaron con una balanza digital cada 3 días. La Pfp se calculó de acuerdo con la Ecuación (5), donde P_i es el peso inicial (g) y P_f es el peso final (g) en la fecha de muestreo. Los resultados se expresaron en porcentaje.

$$Pfp (\%) = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (5)$$

Firmeza y color de la cáscara: La firmeza de la fruta se midió con un analizador de textura (TA-XT2i Stable Micro Systems UK, RU) usando una prueba de compresión, un puntal cónico y una distancia de penetración de 5 mm. Ésta se expresó en Newton (N). El color fue evaluado con un colorímetro Hunter Lab (Mini Scan XE Plus 45/0-L, USA) en escala CieLab. Los resultados se expresaron en % de luz reflejada (valor de L*), ángulo de tono (°) e índice de saturación de color,

usando los valores de a^* y b^* como se indica en las Ecuaciones (6) y (7), respectivamente. Las tres variables fueron medidas de en tres puntos de la región ecuatorial del fruto.

$$\text{Hue } (^{\circ}\text{h}) = \arctan(b^*/a^*) \quad (6)$$

$$\text{Chroma} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (7)$$

Determinación de sólidos solubles totales (SST), pH y acidez titulable. Se obtuvo el jugo de una pitaya mediante maceración y filtración de la pulpa, para estimar los SST se tomó una gota y se colocó en el área de muestreo de un refractómetro digital (Master-M Atago®, Japón) y se expresó en grados Brix ($^{\circ}$ Brix); para determinar el pH se introdujo el electrodo de un potenciómetro (Hanna Instruments HI 98240) y se tomó la lectura de manera directa; la acidez titulable fue estimada por titulación con hidróxido de sodio 0.01 N mediante el punto estequiométrico a un pH de 8.2. La acidez se expresó en % de ácido málico y la cuantificación se determinó con base en la Ecuación (8), donde N es la normalidad del NaOH.

$$\% \text{ ácido málico} = \frac{\text{mL NaOH gastados} \cdot \text{N} \cdot 0.067}{\text{Alícuota}} 100 \quad (8)$$

3.2.8. Ensayo de actividad antifúngica

Aislamiento e identificación de hongos. Se realizó en el laboratorio Grupo Integral de Servicios Fitosanitarios Ena, S.A. de C.V., mediante incubación en cámara húmeda, aislamiento en medio de cultivo agar papa dextrosa (PDA), montaje en laminillas y observación al microscopio, la clasificación se realizó mediante el uso de claves taxonómicas. El hongo aislado se propagó en cajas de Petri que contenían medio de cultivo PDA, las cajas inoculadas se incubaron a 28 $^{\circ}$ C durante 10 días.

Actividad antifúngica *in vitro*. El ensayo de la actividad antifúngica determinada como porcentaje de inhibición del crecimiento micelial, se realizó para los tres recubrimientos del experimento 2 y para el recubrimiento de la formulación óptima determinada por la MSR en el experimento 1, de esta manera se ensayaron 4 tratamientos y un testigo (T) que consistió en medio de cultivo PDA sin adición de recubrimiento; los otros cuatro tratamientos fueron PDA adicionado con: quitosano+cera de carnauba (CB), quitosano+cera de candelilla (CC), quitosano+cera de abeja (CA) y quitosano+ácido oléico (AO). El experimento se condujo bajo un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones.

Los ensayos de actividad antifúngica estuvieron basados en el método de dilución en agar (Shao et al., 2015), se esterilizó medio de cultivo PDA adicionado con 1 % v/v de la emulsión del recubrimiento correspondiente a excepción del testigo, a 121 °C y 15 psi, durante 20 min, luego se vertió en cajas Petri estériles de 9 cm de diámetro, se dejaron solidificar y se inocularon con secciones circulares de 5 mm de diámetro tomadas de los márgenes de las colonias de las cajas previamente incubadas por 10 días en PDA. Finalmente las cajas inoculadas se incubaron a 28 °C durante 12 días y en este tiempo se midió el diámetro de la colonia. El porcentaje de inhibición micelial (%) se calculó con la Ecuación (9), donde: D_a es el diámetro de la zona de crecimiento en las placas de prueba y D_b es el diámetro de la zona de crecimiento en la placa testigo.

$$\text{Porcentaje de inhibición micelial (\%)} = \left(\frac{D_b - D_a}{D_b} \right) 100 \quad (9)$$

Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$), mediante el software estadístico Statistical Analysis System (SAS, 2002), versión 9.0.

3.3. Resultados y discusión

3.3.1. Optimización de la proporción quitosano – ácido oléico

Condiciones óptimas de las variables explicativas. A partir del DCC planteado con dos variables (concentración de quitosano y concentración de ácido oléico) se obtuvieron 13 formulaciones de recubrimientos incluyendo 5 puntos centrales. Los recubrimientos obtenidos se evaluaron en función de la Pfp con la finalidad de establecer las condiciones óptimas a las que se obtiene una menor Pfp.

El ensayo de los factores, concentración de ácido oléico y concentración de quitosano en el desarrollo de los modelos de superficie de respuesta mostró que el ácido oléico tuvo efectos significativos en el proceso (modelo cuadrático), según lo arrojado por el análisis de varianza. El valor mínimo para la Pfp fue de 2.26 % durante 12 días de almacenamiento para unas condiciones óptimas de 0.64 % v/v de ácido oléico y 0.91 % p/v de quitosano (Figura 3).

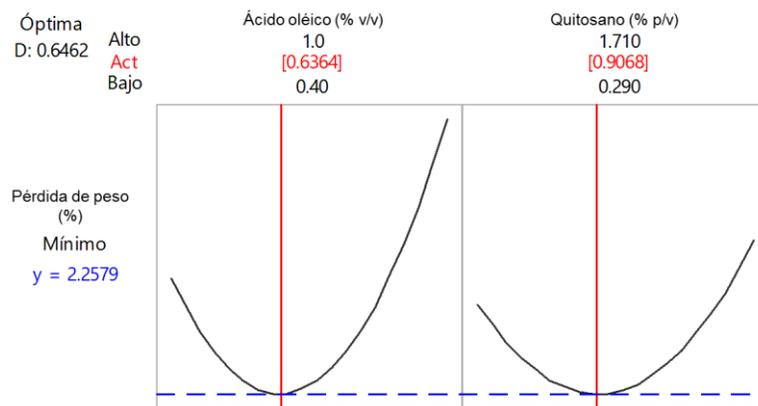


Figura 3. Condiciones óptimas de los factores ácido oléico (% v/v) y quitosano (% p/v) que generan la mínima pérdida de peso en pitaya desespínada, almacenada durante 12 días a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. D = Deseabilidad compuesta.

Bajo las condiciones óptimas de los factores concentración de ácido oléico y quitosano se logró minimizar la expresión de la variable respuesta Pfp hasta un valor de 2.26 % (Figura 4), valor que es bajo respecto al intervalo obtenido en el ensayo preliminar que fue de 10 - 18 % de Pfp.

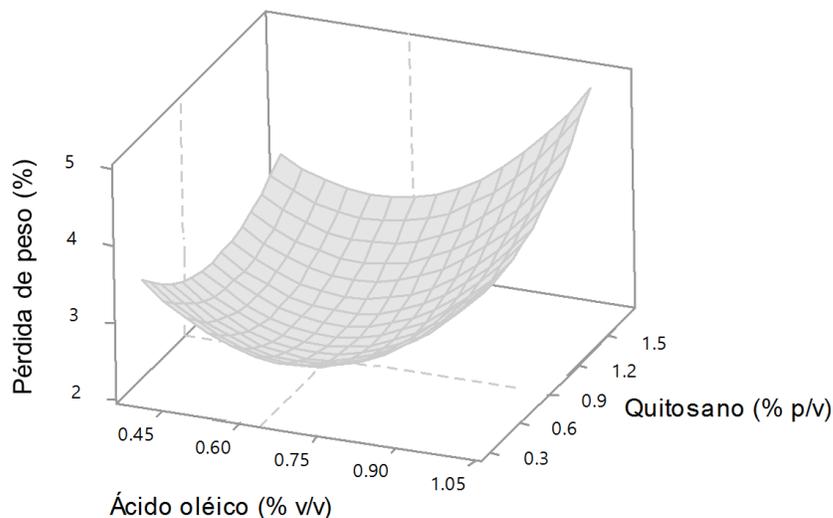


Figura 4. Superficie de respuesta para la optimización de la respuesta pérdida de peso en pitaya desespinaada, almacenada durante a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR durante 12 días, en función de los factores concentración de ácido oléico y quitosano.

Permeabilidad a vapor de agua de películas preformadas. En el Cuadro 4, se observan los valores obtenidos para la permeabilidad a vapor de agua (PVA) y espesor de la película preformada a partir de las concentraciones óptimas para los factores ácido oléico y quitosano, los valores encontrados presentan una PVA menor que los reportados en otras investigaciones, como Aguirre-Loredo et al. (2014) que publicaron intervalos entre $5.0 - 11.2 \times 10^{-10} \text{ g m s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ Pa}^{-1}$ para películas preformadas de emulsiones con tres concentraciones de quitosano (7, 10, 15 g L^{-1}), y tres de ácido oléico (0, 3, 6 g L^{-1}).

Cuadro 4. Espesor y PVA de la película preformada a partir de recubrimiento elaborado con las concentraciones óptimas para los factores ácido oléico y quitosano.

Punto óptimo		Valor estimado de la respuesta	
Ácido oléico (% v/v)	Quitosano (% p/v)	Espesor (μm)	PVA ($\text{g m s}^{-1} \text{m}^{-2} \text{Pa}^{-1}$)
0.64	0.91	$0.0322 \pm 0.6 \times 10^{-3}$	$2.08 \times 10^{-13} \pm 0.4 \times 10^{-13}$

Media (n = 5) \pm desviación estándar.

3.3.2. Respuestas fisiológicas y de atributos de calidad

Perdida fisiológica de peso. Para todos los tratamientos, los valores se incrementaron al transcurrir el periodo de almacenamiento (15 días), sin embargo, en todos la Pfp no fue más allá del 2.2 % (Figura 5), estos valores resultan satisfactorios respecto a los obtenidos en la fase preliminar, donde los frutos recubiertos únicamente con quitosano presentaron pérdidas de peso de 18 % durante 12 días de almacenamiento en refrigeración y sin control de la humedad relativa.

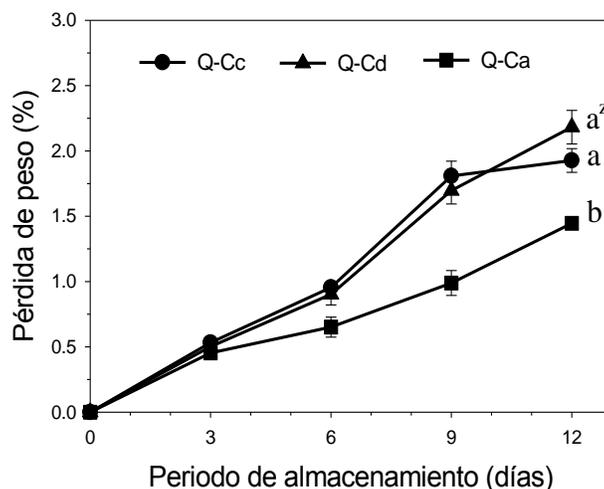


Figura 5. Efecto de recubrimientos de quitosano adicionado con cera de carnauba (Q-Cc), cera de candelilla (Q-Cd) y cera de abeja (Q-Ca) en la pérdida fisiológica de peso de frutos de pitaya *S. griseus* H. durante 12 días de almacenamiento a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. Las barras verticales corresponden al error estándar. ^z Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$).

En relación con esto Chiumarelli y Hubinger (2012), explican que los polímeros naturales, como el quitosano, son hidrofílicos y presentan deficientes propiedades de barrera al agua y la adición de ceras como la de carnauba, candelilla y abeja u otras sustancias hidrófobas han demostrado una disminución de la permeabilidad al vapor de agua de los polímeros naturales, por lo que los valores bajos de Pfp se atribuye a la adición de cera al recubrimiento.

Se observa que a partir del día 6 de almacenamiento hasta el día 12 el tratamiento Q-Ca fue significativamente superior a los otros tratamientos, mostrando la menor pérdida Pfp (Figura 5). Velickova, Winkelhausen, Kuzmanova, Alves y Moldão-Martins (2013), para frutos de fresa, reportaron que la adición de cera de abeja como un componente en el recubrimiento a base de quitosano mostró una reducción en la pérdida de peso de entre 15 a 20 % respecto a las frutas de control.

Patrón de respiración. La tasa de respiración tuvo una tendencia a disminuir para todos los frutos bajo los tres tratamientos. A los 12 días de almacenamiento no se presentaron diferencias significativas entre ellos (Figura 6). Magaña-Benítez et al. (1999) encontró que el patrón de respiración en otras frutas de pitaya (*S. queretaroensis*) almacenadas durante 6 días a 20 °C mostró una tendencia general de disminución en función del tiempo, correspondiendo al patrón de respiración que presentan las frutas no-climatéricas.

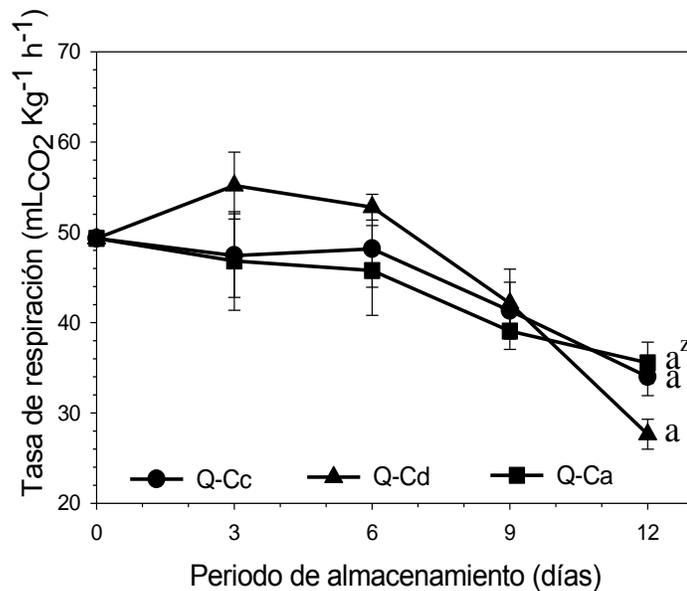


Figura 6. Efecto de recubrimientos de quitosano adicionado con cera de carnauba (Q-Cc), cera de candelilla (Q-Cd) y cera de abeja (Q-Ca) en el patrón de respiración de frutos de pitaya *S. griseus* H. durante 12 días de almacenamiento a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. Las barras verticales corresponden al error estándar. ^z Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$).

Los frutos tratados con recubrimiento de quitosano adicionado con cera de candelilla (Q-Cd) mostraron un aumento en la tasa de respiración hasta el tercer día, después de este tiempo, ésta comenzó a disminuir gradualmente. En general, la tendencia indica que los frutos entraron en senescencia. Tripathi, Saurabh, Malik y Kaul (2016) mencionan que la maduración de la fruta está acompañada por una serie de eventos bioquímicos y en las etapas subsiguientes de maduración ocurren algunos cambios fisiológicos relacionados con la senescencia que conducen al debilitamiento de la membrana y la muerte celular.

Producción de etileno. La producción de etileno se encontró en un intervalo de 43.5 a 74.6 $\mu\text{L}_{\text{C}_2\text{H}_4} \text{Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$, y después de 12 días de almacenamiento se observaron diferencias significativas entre tratamientos (Figura 7). Los frutos tratados con quitosano y cera de candelilla (Q-Cd), en el día tres mostraron un incremento en la producción de etileno y a partir del día seis comenzó a disminuir, en los frutos recubiertos con quitosano adicionado con cera de carnauba (Q-Cc)

y cera de abeja (Q-Ca) no se mostraron incrementos en la producción de etileno, excepto hasta el día 12 en frutos tratados con quitosano y cera de abeja (Q-Ca).

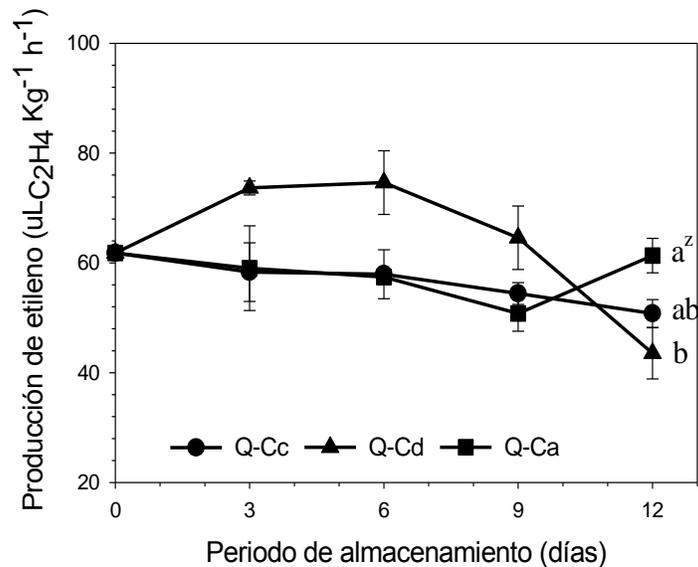


Figura 7. Efecto de recubrimientos de quitosano adicionado con cera de carnauba (Q-Cc), cera de candelilla (Q-Cd) y cera de abeja (Q-Ca) en el patrón de producción de etileno de frutos de pitaya *S. griseus* H. durante 12 días de almacenamiento a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. Las barras verticales corresponden al error estándar. ^z Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$).

Se tienen evidencias de estudios realizados sobre etileno y respuestas dependientes de éste, en los que la sensibilidad al etileno difiere en varios tejidos y/o en etapas de desarrollo, esto se debe a las interacciones de señalización del etileno con otras hormonas vegetales, metabolitos y señales ambientales (Adams-Phillips, Barry & Giovannoni, 2004).

El comportamiento de producción de etileno y el patrón de respiración observados tienen la misma tendencia durante el tiempo de almacenamiento y se observa coincidencia en las tasas de respiración y de producción de etileno en los frutos de todos los tratamientos.

Firmeza. La tendencia general de los frutos en todos los tratamientos fue hacia una pérdida de firmeza y al final del periodo de almacenamiento se observaron diferencias significativas entre tratamientos. Al concluir el periodo de almacenamiento (12 días), los frutos tratados con cera de abeja (Q-Ca) y cera de candelilla (Q-Cd) presentaron menor pérdida de firmeza (Figura 8).

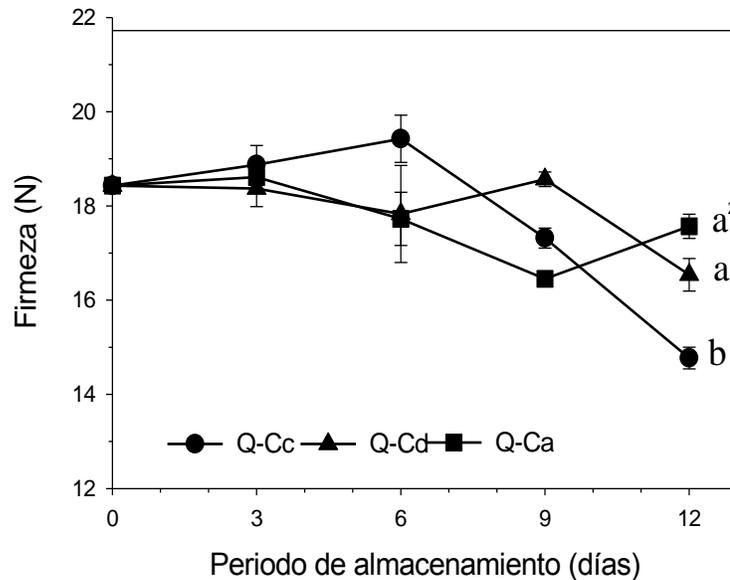


Figura 8. Efecto de recubrimientos de quitosano adicionado con cera de carnauba (Q-Cc), cera de candelilla (Q-Cd) y cera de abeja (Q-Ca) en el cambio de firmeza (N) de frutos de pitaya *S. griseus* H. durante 12 días de almacenamiento a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. Las barras verticales corresponden al error estándar.
^z Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$).

Martínez-González et al. (2017) mencionan que el ablandamiento de los frutos es una serie de eventos genéticamente programados, que involucra un proceso complejo y conlleva a modificaciones en los polímeros de la pared celular mediante una acción coordinada e interdependiente de enzimas y proteínas. Además, la turgencia y la disminución en la firmeza están fuertemente relacionadas con el aumento de la pérdida de peso. El aumento de los niveles de humedad durante el manejo posterior a la cosecha ayuda a reducir la desecación de frutas y verduras y el ablandamiento excesivo (Nunes & Emond, 2007).

Color de la cáscara. En general, se observa que tanto el porcentaje de luminosidad como el ángulo de tono se incrementaron durante los 12 días de almacenamiento respecto a la condición inicial, sin mostrar diferencias significativas entre tratamientos al concluir los 12 días (Cuadro 5). El índice de saturación no mostró diferencias significativas entre tratamientos a los doce días de almacenamiento.

Cuadro 5. Atributos de color en cáscara de frutos de pitaya *S. griseus* H., desespinaados y almacenados durante 12 días a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. En respuesta a recubiertos con: quitosano + cera de carnauba (Q-Cc), quitosano + cera de candelilla (Q-Cd) y quitosano + cera de abeja (Q-Ca).

Atributos de color	Tratamientos		
	Q-Cc	Q-Cd	Q-Ca
Luminosidad (%)			
0 días	38.28±0.49 a ^z	37.00±1.28 a	37.40±1.53 a
12 días	53.65±0.96 a	54.50±0.65 a	55.00 ±1.25 a
Ángulo de tono 'Hue' (°)			
0 días	78.41±10.66 a	59.68±5.34 b	67.13±7.08 ab
12 días	70.15±3.84 a	76.74±5.39 a	72.66±4.65 a
Índice de saturación			
0 días	15.33±0.93 a	13.87±0.85 a	14.12 ±1.13 a
12 días	13.78±0.32 a	14.37±0.58 a	14.90±2.00 a

Media (n = 4) ± desviación estándar.

^z Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$) entre tratamientos por cada tiempo de muestreo (0 y 12 días).

Los porcentajes de luminosidad y los valores para el ángulo de tono son mayores que los reportados por García-Cruz, Valle-Guadarrama, Salinas-Moreno y Luna-Morales, 2016) quienes observaron valores de 20.82 (± 1.16) y 22.87 (± 1.45) para luminosidad y ángulo de tono, respectivamente. Lo cual indica que el epicarpio de los frutos no cambió hacia el color rojo durante el periodo de almacenamiento, pero adquirieron un color más cercano al amarillo, además el recubrimiento influye en un incremento en la luminosidad de los frutos. Estos mismos autores,

reportaron valores para el índice de saturación de color de 30.93 ± 2.84 , los cuales son menores a los encontrados en la presente investigación, esto indica que los frutos del experimento presentaron un color con menor pureza.

Sólidos solubles totales (SST). El contenido de SST disminuyó en función del tiempo de almacenamiento (de 0 a 12 días) para todos los recubrimientos que se ensayaron y no se observaron diferencias significativas entre tratamientos en cada tiempo de muestreo (Figura 9).

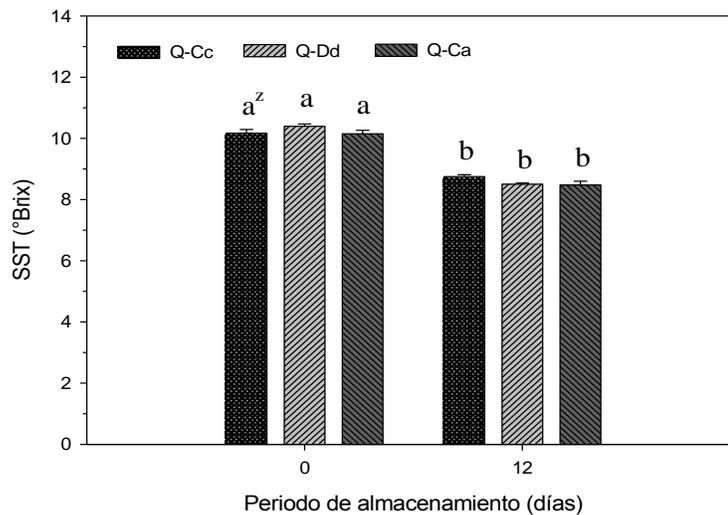


Figura 9. Efecto de recubrimientos de quitosano adicionado con cera de carnauba (Q-Cc), cera de candelilla (Q-Cd) y cera de abeja (Q-Ca) en la concentración de SST (°Brix) de frutos de pitaya *S. griseus* H. a los 0 y 12 días de almacenamiento a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. Las barras verticales corresponden al error estándar. ^z Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$).

La tendencia observada de esta variable en el tiempo de almacenamiento (disminución de SST) en pitaya resulta contraria a la tendencia observada para estos mismos frutos por Cruz (1985); Ojeda y Barrera (1988) quienes reportaron que en la parte final del proceso de maduración se incrementan tanto el contenido de sólidos solubles totales (SST) como el pH. Los resultados obtenidos pueden atribuirse a que la adición de ceras al recubrimiento de quitosano provocó una disminución de los SST en pitaya. Mandal, Lalhmingchawii, Kumar y Chandra (2018) observaron que las frutas de tomate, recubiertas con una cera de

formulación comercial, mostraron un contenido de SST mínimo (3.96 °Brix) respecto a las frutas tratadas con recubrimiento de solo quitosano.

pH y acidez titulable. El pH de las muestras se mantuvo constante desde el día 0 hasta el día 12 de almacenamiento y no mostró diferencias significativas entre los tratamientos. Con respecto a la acidez titulable, se presentó un incremento en los tratamientos Q-Cd y Q-Ca a los 12 días de almacenamiento, estos valores fueron significativamente diferentes a los del tratamiento Q-Cc (Figura 10).

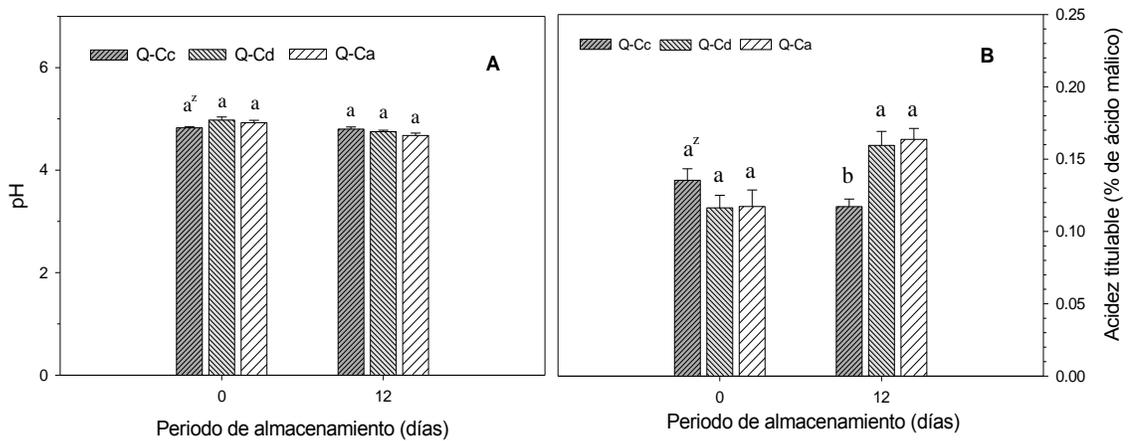


Figura 10. Efecto de recubrimientos de quitosano adicionado con cera de carnauba (Q-Cc), cera de candelilla (Q-Cd) y cera de abeja (Q-Ca) en el pH (A) y acidez titulable (% de ácido málico) (B) de frutos de pitaya *S. griseus* H. a los 0 y 12 días de almacenamiento a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. Las barras verticales corresponden al error estándar.

^z Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$) en cada tiempo de muestreo.

Dilmacunal, Koyunchu, Aktas & Bayindir (2011) observaron que el mayor nivel de acidez se encontró en las frutas de tomate tratadas con cera de formulación comercial, resultados similares fueron observados por Mandal et al. (2018) en frutas de tomate recubiertas con cera, las cuales mostraron una alta acidez a los 14 días de almacenamiento respecto a tomates recubiertos con quitosano únicamente.

3.3.3. Actividad antifúngica

Identificación de hongos. El hongo que se desarrolló en frutos de pitaya al cabo de 12 días de almacenamiento (

Figura 11) fue identificado como *Alternaria alternata*. El género *Alternaria* ataca un amplio número de plantas de importancia agrícola, se encuentra causando daños significativos en frutos y hortalizas en pre y poscosecha (Sánchez, Bautista, & Castillo, 2007). Este hongo causa la pudrición negra en la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) y consecuentemente, provoca la mayoría de las pérdidas durante el período posterior a la cosecha (Vilaplana, Páez & Valencia-Chamorro, 2017).



Figura 11. Aspecto de frutos de pitaya (*S. griseus*) atacados por *Alternaria alternata*.

Inhibición del crecimiento micelial. En relación a esta variable el recubrimiento con quitosano adicionado con ácido oléico (AO) causó un porcentaje de inhibición significativamente superior a los recubrimientos de quitosano adicionado con cera de carnauba (CB) y con cera de abeja (CA), aunque es estadísticamente igual al recubrimiento de quitosano adicionado con cera de candelilla (CC) (Figura 12).

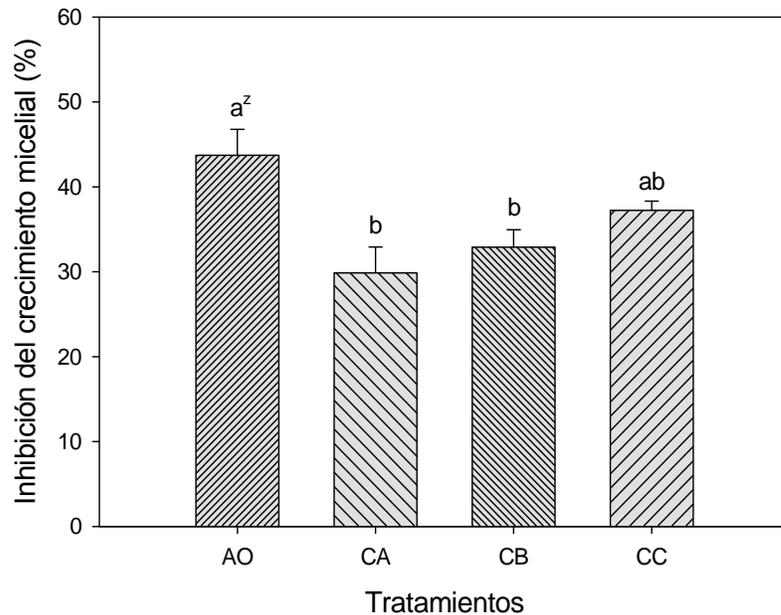


Figura 12. Efecto de recubrimientos a base de quitosano adicionado con ácido oléico (AO), cera de abeja (CA), cera de carnauba (CB) y cera de candelilla (CC) en el crecimiento de micelio de *Alternaria alternata* en la prueba *in vitro* por el método de dilución en agar. Las barras verticales corresponden al error estándar. ^z Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$).

Sánchez et al. (2007) reportaron que la actividad del quitosano contra el hongo *A. alternata* en concentraciones mayores a 1.5 % ejercieron una inhibición del micelio. Por otro lado López-Mora, Gutiérrez-Martínez, Bautista-Baños, Jiménez-García y Zavaleta-Mancera (2013) observaron que el crecimiento micelial, germinación y esporulación de *A. alternata* tuvo una inhibición significativa en presencia del quitosano aplicado en una concentración del 1.0 %.

El resultado obtenido indica que el ácido oléico favoreció la función inhibitoria del quitosano en el crecimiento micelial del hongo *Alternaria alternata* (Figura 13).

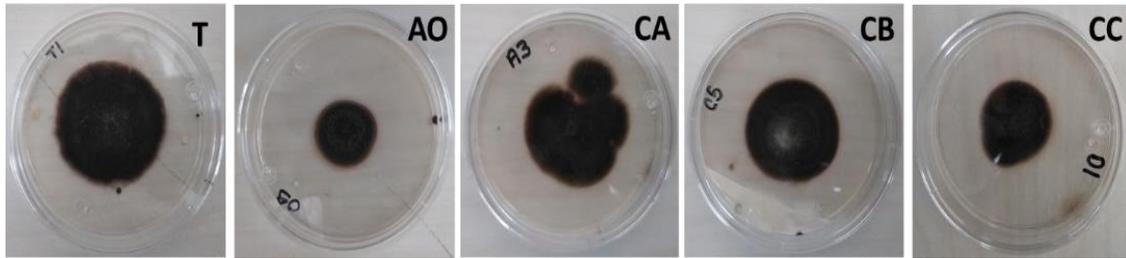


Figura 13. Crecimiento de micelio de *Alternaria alternata* a los 12 días de incubación a 28 ± 1 °C en la prueba *in vitro* por el método de dilución en agar. Testigo (T) quitosano adicionado con ácido oléico (AO), cera de abeja (CA), cera de carnauba (CB) y cera de candelilla (CC).

3.4. Conclusiones

La proporción de ácido oléico – quitosano identificada como óptima para minimizar la pérdida de peso de la pitaya almacenada 12 días a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR a partir de las pruebas de la metodología de superficie de respuesta fue de 0.63 % v/v de ácido oléico y 0.9 % p/v de quitosano.

Los recubrimientos a base de quitosano adicionados con alguna de las ceras evaluadas (carnauba, candelilla y abeja), tuvieron efecto en la reducción de la pérdida fisiológica de peso en frutos almacenados en un ambiente con humedad relativa controlada, la mayor reducción se observó en los frutos con recubrimiento de quitosano adicionado con cera de abeja.

Bajo las condiciones de la presente investigación se logró una vida de anaquel de 12 días, determinada por la presencia de hongos, y se identificó que el hongo patógeno responsable del deterioro de la pitaya fue *Alternaria alternata*.

La prueba *in vitro* para evaluar la inhibición de crecimiento de micelio de *Alternaria alternata* indicó que el recubrimiento elaborado con 0.63 % v/v de ácido oléico y 0.9 % p/v de quitosano así como el tratamiento con cera de candelilla tuvieron mayor efectividad en la inhibición del crecimiento de micelio.

3.5. Literatura citada

- Adams-Phillips, L., Barry, C., & Giovannoni, J. (2004). Signal transduction systems regulating fruit ripening. *Trends in Plant Science*, 9, 331–338. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.05.004>
- Aguirre-Loredo, R. Y., Rodríguez-Hernández, A. I., & Chavarría-Hernández, N. (2014). Physical properties of emulsified films based on chitosan and oleic acid. *CYTA - Journal of Food Science*, 12, 305–312. <https://doi.org/10.1080/19476337.2013.853207>
- ASTM. (1995). Standard test methods for water vapor transmission of material. Standard E 96-95. Annual book of ASTM. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials.
- Bonilla, J., Atarés, L., Vargas, M., & Chiralt, A. (2012) Edible Films and Coatings to Prevent the Detrimental Effect of Oxygen on Food Quality: Possibilities and limitations. *Journal of Food Engineering*, 110, 208-213. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.05.034>.
- Box, G., Hunter, W., & Hunter, J. (1978). Statistics for experimenter. An introduction to design, data analysis and model building. EUA. John Wiley & Sons, Inc.
- Cadena, M. J. A., & Castillo, M. A. (2002). Comparación de diferentes métodos para la estimación de componentes de varianza. *Agrociencia*, 36, 713-723.
- Chiumarelli, M., & Hubinger, M. (2012). Stability, Solubility, Mechanical and Barrier Properties of Cassava Starch -Carnauba Wax Edible Coatings to Preserve Fresh-cut Apples. *Food Hydrocolloids*, 28, 59-67.
- Corrales-García, J. (2003). Caracterización, poscosecha, aprovechamiento e industrialización de pitayas y pitahayas. México. Universidad Autónoma Chapingo/CIESTAAM.
- Correa, L. G. (2004). Análisis de Medidas Repetidas. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Cruz, H. J. P. (1985). Caracterización del fruto de 4 tipos de pitaya (*Stenocereus stellatus* Riccobono). (Tesis de Maestría. Centro de Fruticultura, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México).
- Dilmacunal, T., Koyunchu, M. A., Aktas, H., & Bayindir, D. (2011). The effect of several postharvest treatments on shelf life, quality of bunch tomatoes. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 39, 209-213. Doi: <http://dx.doi.org/10.15835/nbha3926070>
- Elsabee, M. Z., & Abdou, E. S. (2013). Chitosan based edible films and coatings: A review. *Materials Science and Engineering*, 33, 1819–1841. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2013.01.010>

- García-Cruz, L., Valle-Guadarrama, S., Salinas-Moreno, Y., & Luna-Morales, C. del C. (2016). Postharvest quality, soluble phenols, betalains content, and antioxidant activity of *Stenocereus pruinosus* and *Stenocereus stellatus* fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 111, 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.07.004>
- Kader, A. A. (2002). Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas. (3ª ed.). California EUA. Universidad de California.
- López-Mora, L. I., Gutiérrez-Martínez, P., Bautista-Baños, S., Jiménez-García, L. F., & Zavaleta-Mancera, H. A. (2013). Evaluation of antifungal activity of chitosan in *Alternaria alternata* and in the quality of “Tommy atkins” mango during storage. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, XIX, 315–331. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.07.038>
- Magaña-Benitez, W., Corrales-García, J., Colinas-León, T., & Cruz-Hernández, P. (1999). Tipos de empaque y temperaturas de frigoconservación en pitaya (*Stenocereus queretaroensis*). *Horticultura Mexicana*, 7, 426-430.
- Mandal, D., Lalhmingchawii, C., Kumar, H. T., & Chandra, S. A. (2018). Effect of Chitosan, Wax and Particle Film Coating on Shelf Life and Quality of Tomato cv. Samrudhi at Ambient Storage. *Research Journal of Agricultural Sciences*, 9, 11-116.
- Martínez-González, M. E., Balois-Morales, R., Alia-Tejacal, I., Cortes-Cruz, M. A., Palomino-Hermosillo, Y. A., & López-Gúzman, G. G. (2017). Poscosecha de frutos : maduración y cambios bioquímicos Postharvest fruits : maturation and biochemical changes Resumen. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 19, 4075–4087.
- McHugh, T. H., Avena -Bustillos, R., & Krochta, J. M. (1993). Hydrophilic Edible Films: Modified Procedure for Water Vapor Permeability and Explanation of Thickness Effects. *Journal of Food Science*, 58, 899–903. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb09387.x>
- Montgomery, D. C. (2002). Diseño y análisis de experimentos. (2^{da} ed.). Arizona, EUA. Limusa-Wiley.
- Nunes, C. N., & Emond, J. P. (2007). Relationship between Weight Loss and Visual Quality of Fruits and Vegetables. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 120, 235-245. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ojeda, C. A. J., & Barrera, M. L. (1988). Caracterización química del fruto del pitayo *Stenocereus thurberi* y su potencial de industrialización. (Tesis Profesional. Departamento de Ciencias Químicas y Biológicas, Universidad de Sonora. Sonora, México).
- Pereda, M., Amica, G., & Marcovich, N. E. (2012). Development and characterization of edible chitosan/olive oil emulsion films. *Carbohydrate Polymers*, 87, 1318–1325. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.09.019>

- Rosas-Benítez, A., Trujillo-Cárdenas, L., Valle-Guadarrama, S., Salinas-Moreno, Y., & García-Cruz, L. (2016). Quality attributes of pitaya (*Stenocereus pruinosus*) fruit handled in postharvest with and without thorns under refrigerated storage. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, XXII, 191–207. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.04.011>
- Sánchez, D., Bautista, S., & Castillo, P. (2007). Efecto del quitosano en el desarrollo y morfología de *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. *Anales de Biología*, 29, 23–32.
- Santacruz-Vázquez, C., Santacruz-Vázquez, V., & Huerta-Espinosa, V. M. (2009). Agroindustrialización de pitaya. La Habana, Cuba. Editorial Universitaria.
- Shao, X., Cao, B., Xu, F., Xie, S., Yu, D., & Wang, H. (2015). Effect of postharvest application of chitosan combined with clove oil against citrus green mold. *Postharvest Biology and Technology*, 99, 37–43. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.07.014>
- Tovar, B., García, H. S., & Mata, M. (2001). Physiology of pre-cut mango. I. ACC and ACC oxidase activity of slices subjected to osmotic dehydration. *Food Research International*, 34, 207–215. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00154-X](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00154-X)
- Tripathi, K., Saurabh, P., Malik, M., & Kaul, T. (2016). Fruit ripening of climacteric and non climacteric fruit. *Journal of Environmental and Applied Bioresearch*, 04, 27–34.
- Velickova, E., Winkelhausen, E., Kuzmanova, S., Alves, V. D., & Moldão-Martins, M. (2013). Impact of chitosan-beeswax edible coatings on the quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa* cv Camarosa) under commercial storage conditions. *LWT - Food Science and Technology*, 52, 80–92. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.02.004>
- Vilaplana, R., Páez, D., & Valencia-Chamorro, S. (2017). Control of black rot caused by *Alternaria alternata* in yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) through hot water dips. *LWT - Food Science and Technology*, 82, 162–169. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2017.04.042>
- Wang, H., Qian, J., & Ding, F. (2018). Emerging Chitosan-Based Films for Food Packaging Applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66, 395–413. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04528>.

4. CONSERVACIÓN POSCOSECHA DE PITAYA (*Stenocereus griseus* H.) CON RECUBRIMIENTO DE QUITOSANO – ÁCIDO OLÉICO Y 1-MCP

Resumen

Las pitayas (*Stenocereus griseus* H.), son valoradas y consumidas principalmente en fresco y pueden llegar a ser muy atractivas en mercados sofisticados, sin embargo, estos frutos presentan alta perecibilidad, espinas que causan hostilidad a la vista de los consumidores y el manejo poscosecha aún no se ha tecnificado. Hoy en día la aplicación de 1-metilciclopropeno (1-MCP) y los recubrimientos biodegradables, especialmente los elaborados a base de quitosano se han investigado y están siendo aplicados como alternativa para incrementar y mejorar la vida de anaquel de diversos productos hortofrutícolas. Sin embargo, estas dos alternativas no han sido estudiadas en frutos de pitaya. Con base en lo anterior, este trabajo tuvo como objetivo evaluar cambios poscosecha durante la vida de anaquel en pitayas desespinadas tratadas con recubrimiento de quitosano + ácido oléico y 1-MCP, bajo condiciones de frigoconservación (11 ± 1 °C) y humedad relativa (HR) controlada (93 ± 2 %). Se encontró que el recubrimiento Q+AO redujo la pérdida de firmeza, incrementó SST, disminuyó la acidez y retrasó por tres días la incidencia de patógenos, respecto a los frutos sin recubrimiento, así se logró una vida de anaquel de 15 días. Bajo las condiciones del experimento, el 1-MCP, por sí solo, no representó una alternativa promisorio para prolongar la vida de anaquel de la pitaya.

Palabras clave: *Stenocereus griseus* H., quitosano, 1-MCP, vida de anaquel.

**POSTHARVEST CONSERVATION OF PITAYA (*Stenocereus griseus* H.)
WITH CHITOSAN COATING - OLEIC ACID AND 1-MCP**

Abstract

The pitayas (*Stenocereus griseus* H.), are valued and consumed mainly fresh and can become very attractive in sophisticated markets, however, these fruits have high perishability, thorns that cause hostility in view of consumers and post-harvest handling. It has not been technified yet. Nowadays, the application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) and biodegradable coatings, especially those made with chitosan have been investigated and are being applied as an alternative to increase and improve the shelf life of various horticultural products. However, these two alternatives have not been studied in pitaya fruits. Based on the above, this work aimed to evaluate postharvest changes during the shelf life in pitayas without spines treated with chitosan + oleic acid coating and 1-MCP, under conditions of refrigeration (11 ± 1 °C) and relative humidity (HR) controlled (93 ± 2 %). It was found that the Q + AO coating reduced the loss of firmness, increased SST, decreased acidity and delayed the incidence of pathogens for three days, compared to uncoated fruits, thus achieving a shelf life of 15 days. Under the conditions of the experiment, 1-MCP, by itself, did not represent a promising alternative to prolong the shelf life of the pitaya.

Key words: *Stenocereus griseus* H., chitosan, 1-MCP, shelf life

4.1. Introducción

Las pitayas (*Stenocereus griseus* H.) son frutas exóticas, forman parte de la familia de las cactáceas nativas de los trópicos secos de México (Bravo-Hollis, 1978). Las frutas son bayas ligeramente ovaladas, cuya pulpa presenta un color rojo granate, es jugosa, de sabor delicado y muy dulce, contiene pequeñas y numerosas semillas que son fácilmente masticables. El epicarpio en madurez fisiológica, adquiere tonalidades entre verde a rojo pálido y presenta espinas prominentes agrupadas en areolas, que por lo regular se desprenden al madurar el fruto (Martínez-González & Cruz-Hernández, 1995). Las frutas de pitayas son valoradas y consumidas principalmente en fresco, además, pueden llegar a ser muy atractivas en mercados sofisticados por su alto potencial nutracéutico (García-Cruz, Salinas-Moreno & Valle-Guadarrama, 2012) y por su aporte de vitaminas B, C y E y minerales como el hierro, cobre y zinc (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1991).

El manejo poscosecha es simple y aún no se ha tecnificado, los frutos son cosechados manualmente con ganchos de acero, se colocan en botes de plástico o en canastos, después se clasifican por tamaño y finalmente se acomodan en cajas de madera para su comercialización. Además, estos frutos presentan dos inconvenientes: alta perecibilidad, ya que sólo permanecen en condiciones aceptables entre 3 a 5 días a temperatura ambiente (Sáenz-Hernández, Corrales-García, & Aquino-Pérez, 2002) y en consecuencia la comercialización resulta difícil en mercados alejados de las zonas de producción por otro lado, la presencia de espinas causa hostilidad a la vista de los consumidores, dificultan el manejo y generan daños mecánicos.

Por lo anterior, es preciso generar mejores condiciones de manejo poscosecha de estos frutos con la finalidad de ampliar su vida de anaquel. En general, la extensión de la vida poscosecha de la pitaya y de cualquier producto hortofrutícola depende fundamentalmente de tres factores: reducción de la

deshidratación, reducción de la velocidad del proceso fisiológico de maduración y senescencia y reducción de la incidencia y tasa de crecimiento de patógenos (Dhall, 2013).

En relación a la reducción de la velocidad del proceso de la maduración y senescencia, hoy en día la aplicación de 1-MCP y los recubrimientos biodegradables, especialmente los elaborados a base de quitosano se han investigado y están siendo aplicados como alternativa para incrementar y mejorar la vida de anaquel de diversos productos hortofrutícolas. El 1-MCP tiene la capacidad de unirse a los receptores del etileno y de esta manera impide que se desencadenen las reacciones que conllevan al proceso de maduración y/o senescencia (In, Strable, Binder, Falbel & Patterson, 2013). Por otro lado, los recubrimientos a base de quitosano presentan biocompatibilidad, biodegradabilidad y buenas propiedades antibacterianas y antifúngicas (Kerch, 2015), aunque son altamente hidrofílicos por lo que es necesario mejorar sus propiedades de permeabilidad a vapor de agua mediante la adición de compuestos hidrofóbicos (Aguirre-Loredo, Rodríguez-Hernández & Chavarría-Hernández, 2014). El ácido oléico (AO) se ha utilizado para modificar y favorecer las propiedades de barrera de películas y recubrimientos en general (Vargas, Albors, Chiralt, & González-Martínez, 2009). Sin embargo, el efecto de estas dos alternativas, que han mostrado resultados promisorios en diversos productos hortofrutícolas, no ha sido estudiado en frutos de pitaya.

Con base en lo anterior, este trabajo tuvo como objetivo evaluar cambios poscosecha durante la vida de anaquel en pitayas desespínadas tratadas con recubrimiento de quitosano –AO y 1-MCP, bajo condiciones de frigoconservación y humedad relativa (HR) controlada. Se utilizó el recubrimiento elaborado con la proporción óptima de quitosano y AO que minimizó la pérdida fisiológica de peso de frutos de pitaya, hallazgo obtenido en la primera fase investigación y descrito en el capítulo tres.

4.2. Materiales y métodos

4.2.1. Cosecha y acondicionamiento del material biológico

Se emplearon frutos de pitaya (*Stenocereus griseus* H.), cosechados en la localidad de Dolores Hidalgo, Santa Clara Huitziltepec, Puebla (18° 51' 06" LN, 97° 55' 00" LO; 1920 msnm). La madurez para corte se definió de acuerdo a parámetros indicados por los productores de la región (cuando las espinas se pueden retirar con facilidad y la cáscara adquiere brillo). En seguida del corte, los frutos se trasladaron por carretera (150 Km) a la Universidad Autónoma Chapingo, empacados en cajas de cartón y envueltos con un material esponjoso (guata) para evitar daños por fricción y punción mutua.

A su llegada, las pitayas se almacenaron en una cámara de refrigeración a 11 ± 2 °C durante 24 horas para eliminar el calor de campo. Se seleccionaron por tamaño (130 ± 20 g) y libres de defectos físicos, se desespinaron manualmente (excepto los frutos del tratamiento testigo), se desinfectaron en una solución de NaClO (250 ppm) por 5 minutos, se escurrieron y secaron con toallas de papel absorbente.

4.2.2. Tratamientos y diseño del experimento

Los cinco tratamientos ensayados tienen las características siguientes: frutos intactos o no desespinaos (Nd), frutos desespinaos (D), frutos desespinaos y luego recubiertos con quitosano – AO (D+Q), frutos desespinaos y tratados con 1-MCP (D+1MCP), frutos desespinaos y recubiertos con quitosano – AO y tratados con 1-MCP (D+Q+1-MCP). Los frutos tratados se almacenaron durante 15 días a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR.

Se usó un modelo mixto con cuatro repeticiones y la asignación de los tratamientos fue bajo un esquema completamente al azar, cada unidad experimental estuvo conformada por dos frutos.

El modelo mixto se expresa de la siguiente manera (Cadena & Castillo, 2002; Correa, 2004):

$$Y = X\beta + U\xi + \varepsilon$$

Sujeto a:

$$E \begin{bmatrix} \xi \\ \varepsilon \end{bmatrix} = 0; \text{Var} \begin{bmatrix} \xi \\ \varepsilon \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G & 0 \\ 0 & R \end{bmatrix}$$

Dónde: $R = \delta^2 I_n$

$$\text{Var}(Y) = UGU^T + R$$

Donde:

Y: vector (n x 1) de observaciones.

B: vector (s x 1) de parámetros desconocidos de efectos fijos.

X: matriz (n x s) conocida, usualmente denominada matriz diseño de efectos fijos.

ξ : vector (t x 1) de efectos aleatorios, es de la forma $\xi' = [\xi'_1, \xi'_2, \dots, \xi'_c]$ con ξ_i de orden t_i y $t_1 + t_2 + \dots + t_c = t$ y $\xi' = (0, \sigma_e^2 I_n)$ con $\text{cov}(\xi_i, \xi_{i'}) = 0$ para $i \neq i'$.

$U = [U_1, \dots, U_c]$: matriz (n x t) de incidencias, conocida, con U_i de dimensiones n x t_i , denominada matriz diseño de efectos aleatorios para estudios longitudinales.

$\varepsilon \sim (0, \sigma_e^2 I_n)$ es el vector (n x 1) de términos de error aleatorios.

Para identificar diferencias significativas se realizaron comparaciones de tratamientos con la prueba Tukey-Kramer con un nivel de significancia de 0.05, mediante el Paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS, 2002), versión 9.0.

4.2.3. Aplicación de los tratamientos

Aplicación de 1-MCP. El 1-MCP usado fue obtenido de una formulación comercial en polvo (EthylBloc® Floralife Inc., Walterboro, SC, EUA), los frutos de pitaya se introdujeron en un recipiente de 29.45 L y se aplicaron $4.2 \mu\text{L L}^{-1}$ de 1-MCP en gas, el cual se generó adicionando agua destilada a los sobres que contenían 1-MCP en polvo, el recipiente se cerró herméticamente y la exposición al producto fue por 24 h a $23 \text{ }^\circ\text{C}$ y 85 % de HR.

Preparación y aplicación del recubrimiento. El recubrimiento se preparó mediante la dispersión de 0.91 g de quitosano (grado de desacetilación del 85 %, Sigma- Aldrich® Quimica, S.A. de C.V.) en 100 mL de una solución de ácido acético glacial (1 % v/v) y agua destilada. Posteriormente se añadió glicerol (0.5 % v/v) como agente plastificante, monooleato de polioxietilen(20)sorbitano (Tween® 80) (0.1 % p/v) como emulsificante y finalmente AO (0.63 % v/v), la mezcla se homogeneizó con un equipo Ultra-turrax (modelo T50digital, IKA® Labortechnik, Staufen, Alemania) a 2200 rpm durante 15 min.

El recubrimiento elaborado, se aplicó a los frutos de pitaya correspondientes mediante inmersión durante 30 s, una vez seco el recubrimiento, se colocaron en recipientes de plástico y se almacenaron a $11 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ y $93 \pm 2 \text{ } \%$ HR.

4.2.4. Variables fisiológicas

Pérdida fisiológica de peso. Al inicio y en periodos de tres días durante el experimento se registró el peso de los frutos, para lo cual se utilizó una balanza digital (Ohaus, EUA) con precisión de 0.01 g. Con los datos obtenidos se determinó el porcentaje de pérdida de peso (% PP) mediante la Ecuación (1), donde P_i y P_f son los pesos (g) al inicio y al final de cada periodo de almacenamiento, respectivamente.

$$\% \text{ PP} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (1)$$

Comportamiento respiratorio (CO₂) y producción de etileno (C₂H₄). La velocidad de respiración (mL_{CO₂}Kg⁻¹h⁻¹) y la producción de etileno (μL_{C₂H₄}Kg⁻¹h⁻¹) de los frutos de pitaya se evaluaron mediante un método estático (Tovar, García, & Mata, 2001). Se colocó un fruto de peso y volumen conocido, en el interior de un recipiente de volumen conocido, durante una hora. Con una jeringa, se extrajeron 3 mL del aire contenido en el espacio de cabeza del recipiente y se inyectaron en un recipiente cerrado al vacío (vacutainer), los recipientes se guardaron en un congelador a -20 °C hasta su evaluación, la cual se realizó mediante cromatografía de gases en un cromatógrafo de gases (Agilent Technologies-7890B®) con detectores de diferencial de conductividad térmica (TCD) y de ionización de flama (FID). La columna se utilizó a 100 °C, el detector FID se utilizó a una temperatura de 150 °C y con flujos de aire, H₂ y N₂ de 400, 25 y 25 mL min⁻¹, respectivamente. El TCD se utilizó a una temperatura de 180 °C con un flujo de N₂ de 25 mL min⁻¹. El tiempo de retención para identificar CO₂ fue de 2.07 min y para el de C₂H₄ de 2.27 min.

4.2.5. Determinación de parámetros de calidad

Firmeza de cáscara. La firmeza se determinó en la cáscara del fruto en la región ecuatorial con un texturómetro universal TA-XT2i (Stable Micro Systems UK, RU). Se utilizó un puntal cónico y se empleó una rutina de medida de fuerza en compresión uniaxial, con una distancia de penetración de 5 mm. Las velocidades de preensayo, ensayo y postensayo fueron de 5, 1 y 5 mm s⁻¹, respectivamente y una celda de carga de 2 kg. Los resultados se expresaron en Newtons (N).

Color de cáscara y pulpa. Para describir el color de los frutos, tanto en cáscara como en pulpa, se obtuvieron valores para cada uno de sus atributos (luminosidad, ángulo de tono e índice de saturación de color) mediante la

determinación con un colorímetro Hunter Lab (Mini Scan XE Plus 45/0-L, EUA) en escala CieLab (L^* , a^* , b^*), se obtuvieron los índices L^* , a^* y b^* en dos partes diferentes de la cáscara del fruto y de la pulpa; con los valores de a^* y b^* se calculó ángulo de tono 'Hue' ($^{\circ}H$) Ecuación (2) y el índice de saturación del color (Chroma) Ecuación (3), en tanto que L^* se tomó como luminosidad expresada en % de luz reflejada.

$$\text{Hue } (^{\circ}h) = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (2)$$

$$\text{Chroma} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (3)$$

Acidez titulable. Para determinar la acidez se maceró la pulpa de un fruto y se filtró para obtener jugo, del cual se tomó una muestra y se registró su peso, ésta se tituló con NaOH 0.01N, por la dificultad de distinguir el vire de color en la pulpa que es de color rojo, la determinación se hizo mediante el punto estequiométrico a un pH de 8.2 usando un potenciómetro (Hanna Instruments HI 98240). La acidez se expresó en % de ácido málico, ésta se calculó de acuerdo a la Ecuación (4), donde: N es la normalidad del NaOH.

$$\text{Acidez (\% ácido málico)} = \frac{\text{mL NaOH gastados} \cdot N \cdot 0.067}{\text{Alícuota}} 100 \quad (4)$$

pH. En el jugo filtrado se introdujo el electrodo de un potenciómetro (HI 98240, Hanna Instruments, Italia) y de manera directa se tomó la lectura mostrada en el aparato.

Sólidos solubles totales (SST). Se tomó una gota del jugo de pitaya y se colocó en el área de muestreo de un refractómetro digital (Master-M Atago®, Japón) y se registró el valor mostrado en la pantalla como contenido de SST expresado en $^{\circ}$ Brix.

4.2.6. Evaluación de la incidencia de hongos

La incidencia de hongos se evaluó como porcentaje de frutos infectados a los 12 y 15 días de almacenamiento (López-Mora, Gutiérrez-Martínez, Bautista-Baños, Jiménez-García & Zavaleta-Mancera, 2013). El porcentaje se calculó de acuerdo a la Ecuación (5), donde F_d es el número de frutos con presencia de hongos y F_t es el total de frutos evaluados.

$$\text{Incidencia (\%)} = \frac{F_d}{F_t} 100 \quad (5)$$

4.3. Resultados y discusión

4.3.1. Variables fisiológicas

Pérdida fisiológica de peso (Pfp). La Pfp, para todos los tratamientos, siguió el patrón característico de frutos en poscosecha, es decir, aumentó conforme avanza el periodo de almacenamiento (Figura 14). En general, el intervalo de valores encontrado para la Pfp es muy bajo en comparación con el reportado por García (2014), quien encontró que la Pfp osciló entre 25 y 30 % después de 10 días de almacenamiento a 24 °C y 90 % HR y con los encontrados por Rosas-Benítez, Trujillo-Cárdenas, Valle-Guadarrama, Salinas-Moreno y García-Cruz (2016) de 5.8 y 10.0 % para frutos de pitaya sin desespinar y desespinaados respectivamente, para el mismo periodo de almacenamiento pero a 12 °C y 76 % HR.

La diferencia entre los valores encontrados y los reportados, puede deberse a las condiciones de almacenamiento en términos de HR y temperatura a la que estuvieron expuestos los frutos durante el periodo de almacenamiento.

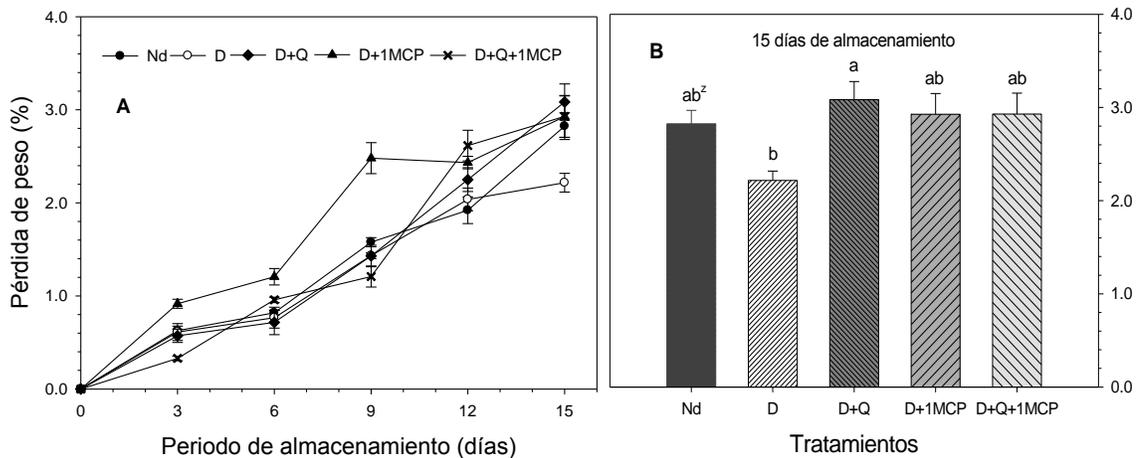


Figura 14. Efecto de diferentes tratamientos en frutos de pitaya *S. griseus* H. no desespinaados (Nd), desespinaados (D), desespinaados con recubrimiento de quitosano + AO (D+Q), desespinaados tratados con 1-MCP (D+1MCP) y desespinaados con recubrimiento de quitosano + AO y tratados con 1-MCP (D+Q+1MCP) en la pérdida fisiológica de peso (%) durante 12 días de almacenamiento (A) a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. Las barras verticales corresponden al error estándar.

^z Letras iguales (B) indican diferencia no significativa (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$).

En consecuencia, la humedad relativa alta (93 ± 2 % HR) del ambiente de almacenamiento significó un menor gradiente de presión de vapor de agua entre las frutas de pitaya y el aire del ambiente de almacenamiento, impactando en los valores obtenidos, de modo contrario en el trabajo citado una HR de 76% representó un mayor DPV que pudo haber contribuido al incremento de la Pfp. La Pfp está asociada a la pérdida de agua, que ocurre como consecuencia del fenómeno de transpiración (Lamúa, 2000). La velocidad de pérdida de agua está relacionada con el déficit de presión de vapor (DPV) que se da entre la presión de vapor del aire en los espacios intercelulares del tejido vegetal y el aire de la atmósfera en que se encuentra (Imsabai, Ketsa, & Van Doorn, 2006), por lo cual la deshidratación se reduce si se disminuye dicha diferencia (Thompson, 2002).

Los frutos desespinaados (D), resultaron tener un % Pfp significativamente menor que los frutos desespinaados y recubiertos con quitosano y AO (D+Q), lo anterior puede deberse a que los recubrimientos de quitosano, aun conteniendo AO,

conservan propiedades hidrofílicas. Esto coincide y puede explicarse con los hallazgos de Aguirre-Loredo et al. (2014) quienes reportaron que la incorporación de AO a las películas no provocó disminución significativa en los valores de permeabilidad a vapor de agua y mencionaron que puede atribuirse a irregularidades aleatorias en la estructura de la película originada en el proceso de secado, tales como poros, huecos y grietas.

Comportamiento respiratorio (CO₂). El efecto de los tratamientos fue semejante ya que no se encontraron diferencias significativas en las tasas de respiración a través del tiempo (Figura 15). Incluso, entre frutos con espinas y desespinaados no se tuvieron diferencias significativas para esta variable, sin embargo se esperaba que al retirar las espinas los frutos desespinaados incrementarían su actividad respiratoria significativamente, pero esto no fue así, de tal manera que el desespinaado en pitaya no provocó el estrés que se esperaba lo cual puede atribuirse a que se formó una zona de abscisión entre la espina y la areola que provoca su caída de manera natural.

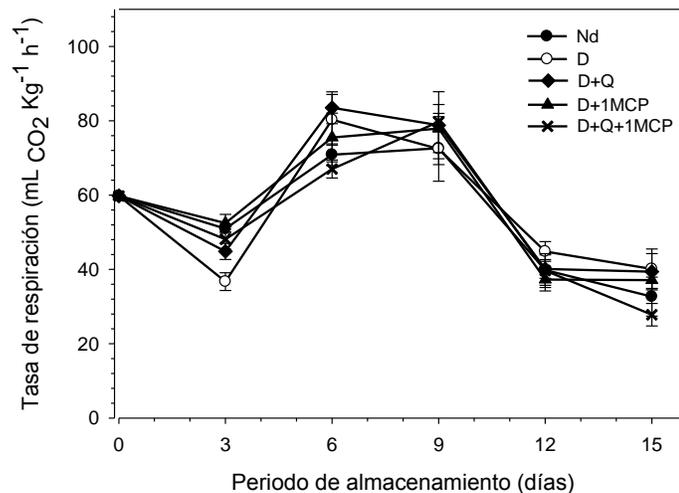


Figura 15. Efecto de diferentes tratamientos en frutos de pitaya *S. griseus* H. no desespinaados (Nd), desespinaados (D), desespinaados con recubrimiento de quitosano + AO (D+Q), desespinaados tratados con 1-MCP (D+1MCP) y desespinaados con recubrimiento de quitosano + AO y tratados con 1-MCP (D+Q+1MCP) en el patrón de respiración durante 12 días de almacenamiento a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. Las barras verticales corresponden al error estándar.

Para todos los tratamientos, los frutos presentaron un incremento en la tasa de respiración que inició a partir del día tres, se mantuvo alto hasta el día nueve y comenzó a disminuir a partir de este día. Este comportamiento es semejante al que presentan frutos climatéricos.

En general, los frutos se dividen en dos grupos según los mecanismos reguladores del proceso de maduración. Las frutas climatéricas se caracterizan por un aumento de la respiración y en la producción de etileno, las frutas no climatéricas se definen por la ausencia de un pico respiratorio y de producción de etileno durante la maduración (Tripathi, Saurabh, Malik, & Kaul, 2016). De acuerdo a esta clasificación se ha considerado a las pitayas como frutos no climatéricos (Cruz, 1985; Magaña-Benítez, Corrales-García, Colinas-León & Cruz-Hernández, 1999; Armella, Yáñez-López, Soriano, & Ramírez, 2004; García-Cruz, Valle-Guadarrama, Salinas-Moreno, & Luna-Morales, 2016), no obstante en los últimos años se ha observado que en la maduración de muchas frutas no climatéricas se presenta un patrón de respiración y de producción de etileno parecido al que presentan los frutos climatéricos, además, existe evidencia de que las frutas climatéricas y no climatéricas comparten algunas vías de maduración similares (Barry y Giovannoni 2007).

Producción de etileno (C₂H₄). El patrón de producción de etileno a través del tiempo siguió la misma tendencia para todos los tratamientos, a partir del día tres, la producción de etileno comenzó a incrementarse y después del día nueve comenzó a disminuir, al término del periodo de evaluación (15 días) los tratamientos no presentaron valores con diferencias significativas (Figura 16).

El patrón de producción de etileno, para todos los tratamientos, es semejante al de respiración, es decir cuando se observó un incremento en la producción de etileno ocurrió lo mismo en la tasa de respiración.

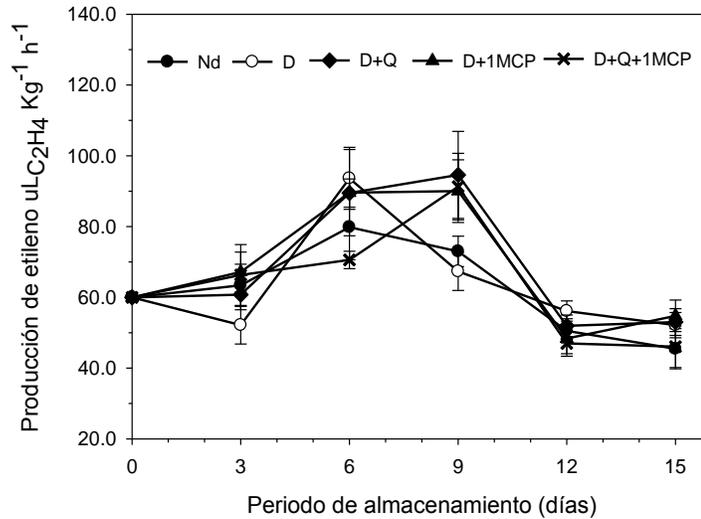


Figura 16. Efecto de diferentes tratamientos en frutos de pitaya *S. griseus* H. no desespinaados (Nd), desespinaados (D), desespinaados con recubrimiento de quitosano + AO (D+Q), desespinaados tratados con 1-MCP (D+1MCP) y desespinaados con recubrimiento de quitosano + AO y tratados con 1-MCP (D+Q+1MCP) en el patrón de producción de etileno durante 12 días de almacenamiento a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. Las barras verticales corresponden al error estándar.

El etileno es la hormona vegetal responsable de regular diferentes procesos durante la maduración de productos agrícolas, llevando a procesos de senescencia y finalmente, pérdida de valor nutricional y comercial (Balaguera-López, Salamanca-Gutiérrez, García & Herrera- Arevalo, 2014). Evidencias emergentes de los estudios realizados sobre etileno y respuestas dependientes de éste han sugerido que la sensibilidad al etileno difiere en varios tejidos y / o en etapas de desarrollo distintas, esto se debe a las interacciones de señalización del etileno con otras hormonas vegetales, metabolitos y señales ambientales (Adams-Phillips, Barry & Giovannoni, 2004). Actualmente los análisis detallados sobre la maduración y los cambios relacionados con ella, especialmente en los niveles de CO₂ y de etileno como la presencia de un aumento característico en los niveles de CO₂ y una explosión en la producción de etileno en algunas frutas no climatéricas como en fresa y uva, desafiaron la clasificación básica y revelan que la clasificación de las frutas según el aumento climatérico y/o producción de etileno no es muy clara ni perfecta (Paul, Pandey, & Srivastava, 2012).

Por otro lado, en frutos climatéricos, cuya maduración y senescencia es dependiente del estímulo del etileno, el 1-MCP ha sido utilizado para prolongar su vida de anaquel, debido a su capacidad para contrarrestar los efectos del etileno (Blankenship & Dole, 2003). En frutos no climatérico cuya maduración en poscosecha no depende del etileno, ya que se separan de la planta una vez que han alcanzado la madurez hortícola, suceden procesos bioquímicos similares a los climatéricos que dan lugar a las características ideales de calidad (Sharma, Jacob, Subramanian & Paliyath, 2010), por lo tanto también en frutos no climatéricos el 1-MCP ha sido aplicado como un elemento que permite alargar la vida útil de estos productos (Dou, Jones & Ritenour, 2005). Sin embargo, contrario a lo que se esperaba, los resultados muestran que en frutos de pitaya, bajo las condiciones del experimento, la aplicación de 1-MCP no provocó una reducción significativamente diferente del efecto del etileno a la que presentan frutos que no fueron tratados con este compuesto.

El recubrimiento de quitosano tampoco tuvo una influencia significativa sobre la producción etileno.

4.3.2. Determinación de parámetros de calidad

Firmeza. La firmeza de los frutos, para todos los tratamientos, disminuyó en el transcurso del periodo de almacenamiento y a los 15 días se encontraron diferencias significativas. El solo desespinado causó una reducción de la firmeza de 3 N; los frutos más firmes fueron los no desespinaados (Nd) y los desespinaados tratados con recubrimiento de quitosano – AO y con 1-MCP (D+Q+1MCP), mientras que las pitayas desespinaadas (D) y desespinaadas tratadas sólo con 1-MCP (D+1MCP) presentaron una pérdida de firmeza mayor significativamente (Figura 17).

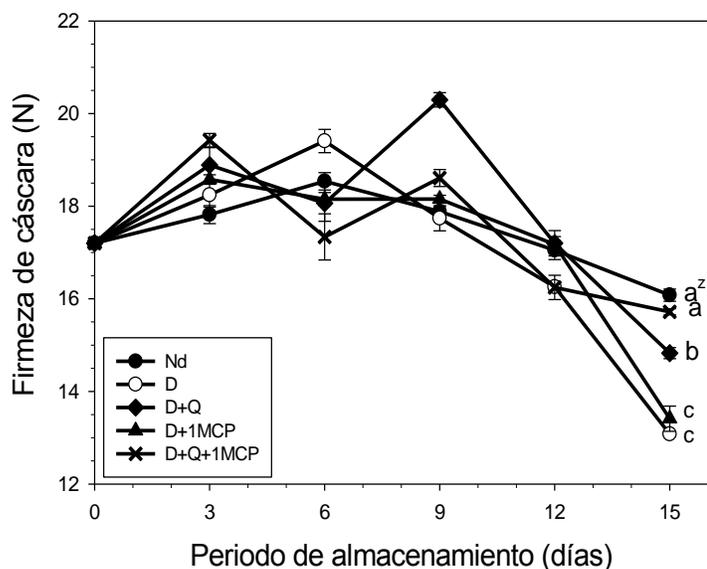


Figura 17. Efecto de diferentes tratamientos en frutos de pitaya *S. griseus* H. no desespinaados (Nd), desespinaados (D), desespinaados con recubrimiento de quitosano + AO (D+Q), desespinaados tratados con 1-MCP (D+1MCP) y desespinaados con recubrimiento de quitosano + AO y tratados con 1-MCP (D+Q+1MCP) en la firmeza (N) durante 12 días de almacenamiento a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. Las barras verticales corresponden al error estándar.

^z Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$).

Los resultados indican que el recubrimiento con quitosano – AO y la aplicación de 1-MCP mantuvieron la firmeza en pitaya desespinaada. Tratamiento cuyo efecto resultó estadísticamente igual al testigo (frutos no desespinaados).

En frutos de pitahaya amarilla tratadas con 1-MCP (200 y 400 $\mu\text{g L}^{-1}$), Serna, Torres y Ayala (2012) encontraron pérdidas de firmeza significativamente menores respecto al testigo. También Deaquiz, Álvarez-Herrera y Fischer (2014) reportaron que el tratamiento con 1-MCP (600 mg L^{-1}) redujo la pérdida de firmeza. Sin embargo, en esta investigación la aplicación sólo de 1-MCP no presentó el mismo efecto. En este caso el retardo en el ablandamiento se atribuye al recubrimiento de quitosano. En relación a esto Kumar, Sethi, Sharma, Srivastav y Varghese, (2017) encontraron que el recubrimiento de quitosano aplicado a frutas de ciruela contribuye a mantener su firmeza debido a que el recubrimiento es efectivo para retardar las actividades metabólicas y enzimáticas y por lo tanto, el proceso de degradación de los componentes de la pared celular.

Además Ochoa-Velasco y Guerrero-Beltrán (2014), reportaron que el recubrimiento de quitosano con 1.0 % de ácido acético, mantuvo la firmeza en tuna mínimamente procesada durante 16 días de almacenamiento a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR .

Color en cáscara y pulpa. El efecto de los tratamientos en los atributos de color, ángulo de tono e índice de saturación de color en la cáscara del fruto no mostró variaciones significativas a través del tiempo. Solamente en luminosidad se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos a los 15 días de almacenamiento (Cuadro 6). Los frutos desespinaados (D) presentaron valores significativamente más altos que los frutos no desespinaados (Nd) y desespinaados con recubrimiento de quitosano – AO y aplicación de 1-MCP (D+Q+1MCP).

Cuadro 6. Atributos de color de frutos de pitaya *S. griseus* H., almacenados durante 15 días a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. Bajo los tratamientos: frutos no desespinaados (Nd), desespinaados (D), frutos con recubrimiento de quitosano-AO (D+Q), frutos tratados con 1-MCP (D+1MCP) y frutos con recubrimiento de quitosano-AO y tratados con 1-MCP (D+Q+1MCP).

Atributos de color	Tratamiento*				
	Nd	D	D+Q	D+1MCP	D+Q+1MCP
CÁSCARA					
Luminosidad (%)					
0 días	38.70 ± 0.57 a ^z	39.68 ± 1.33 a	37.97 ± 2.19 a	38.04 ± 0.99 a	37.39 ± 1.53 a
15 días	36.08 ± 1.33 b	38.74 ± 0.91 a	36.80 ± 1.54 ab	36.85 ± 0.80 ab	36.07 ± 1.10 b
Ángulo de tono 'Hue' (°)					
0 días	55.43 ± 5.47 a	66.62 ± 6.89 a	61.46 ± 7.33 a	60.39 ± 6.71 a	58.06 ± 4.65 a
15 días	55.60 ± 3.01a	55.68 ± 5.45 a	52.40 ± 5.18 a	50.66 ± 1.53 a	52.51 ± 3.88 a
Índice de saturación					
0 días	14.32 ± 1.15 a	13.74 ± 1.29 a	12.66 ± 1.27 a	11.70 ± 1.11 a	13.11 ± 2.55 a
15 días	11.82 ± 1.89 a	10.92 ± 1.88 a	12.60 ± 0.43 a	11.70 ± 1.13 a	11.07 ± 1.59 a
PULPA					
Luminosidad (%)					
0 días	19.11 ± 1.20 a	17.54 ± 0.34 ab	16.32 ± 1.27 b	19.06 ± 0.88 a	17.50 ± 0.49 ab
15 días	20.74 ± 1.95 a	19.67 ± 1.52 a	18.68 ± 1.55 a	17.46 ± 1.55 a	18.08 ± 1.53 a
Ángulo de tono 'Hue' (°)					
0 días	25.99 ± 1.10 a	26.94 ± 1.26 a	26.13 ± 1.24 a	27.87 ± 1.78 a	29.03 ± 1.77 a
15 días	24.11 ± 1.84b	26.42 ± 1.06 ab	26.13 ± 1.26 ab	29.11 ± 1.48 a	27.26 ± 1.60 ab
Índice de saturación					
0 días	37.26 ± 1.44 b	39.02 ± 2.01 b	40.91 ± 3.32 b	42.58 ± 3.02 ab	46.43 ± 2.07 a
15 días	36.20 ± 4.00 a	39.29 ± 4.41 a	38.22 ± 4.53 a	42.67 ± 2.74 a	42.50 ± 3.87 a

Media (n = 4) ± desviación estándar.

^z Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$) entre tratamientos dentro de cada periodo de almacenamiento.

Los valores obtenidos para los atributos de color en cáscara coinciden con los reportados por Rosas-Benítez et al. (2016) quienes observaron valores para el ángulo de tono de 55.22 (\pm 13.49), 50.78 (\pm 12.24), para el índice de saturación los valores fueron 16.79 (\pm 3.89) y 14.97 (\pm 3.84) y para luminosidad 38.69 (\pm 2.92), 38.06 (\pm 3.04), para frutos no desespinaados y desespinaados respectivamente.

Respecto al color en pulpa, a los 15 días de almacenamiento la luminosidad y el índice de saturación de color no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos ensayados. El ángulo de tono en el tratamiento Nd presentó un valor menor significativamente que el tratamiento D+1MCP, lo cual indica que los frutos Nd son más cercanos al rojo, mientras que en los frutos del tratamiento D+1MCP se observó una pérdida de color rojo, en este caso puede deberse a una degradación de pigmentos (Magaña et al., 1999). El color rojo de la pulpa de la pitaya se debe al contenido de betalaínas totales (betacianinas y betaxantinas), pero predominaron las betacianinas las cuales se asocian con coloraciones rojo-violeta (García-Cruz et al., 2012).

En general, tanto en cáscara como en pulpa, el recubrimiento con quitosano - AO y la aplicación de 1-MCP no provocaron cambios significativos de los atributos de color a través del tiempo de almacenamiento.

Sólidos solubles totales (SST). Después de 15 días de almacenamiento se presentaron diferencias significativas entre tratamientos, los frutos bajo los tratamientos Nd y D son estadísticamente iguales y con el menor contenido de SST (Figura 18), lo anterior puede deberse a que estos mismos tratamientos fueron los que presentaron menor Pfp por lo cual los SST se encontraban disueltos en una mayor cantidad de agua. Los sólidos solubles totales (SST) permanecieron sin cambios mayores durante el tiempo de almacenamiento, debido a que los frutos se cosecharon cuando ya habían alcanzado la madurez de consumo. Blankenship y Dole (2003) mencionan que el 1-MCP puede

incrementar, reducir o mantener inalterado el desarrollo de los SST en función de la especie.

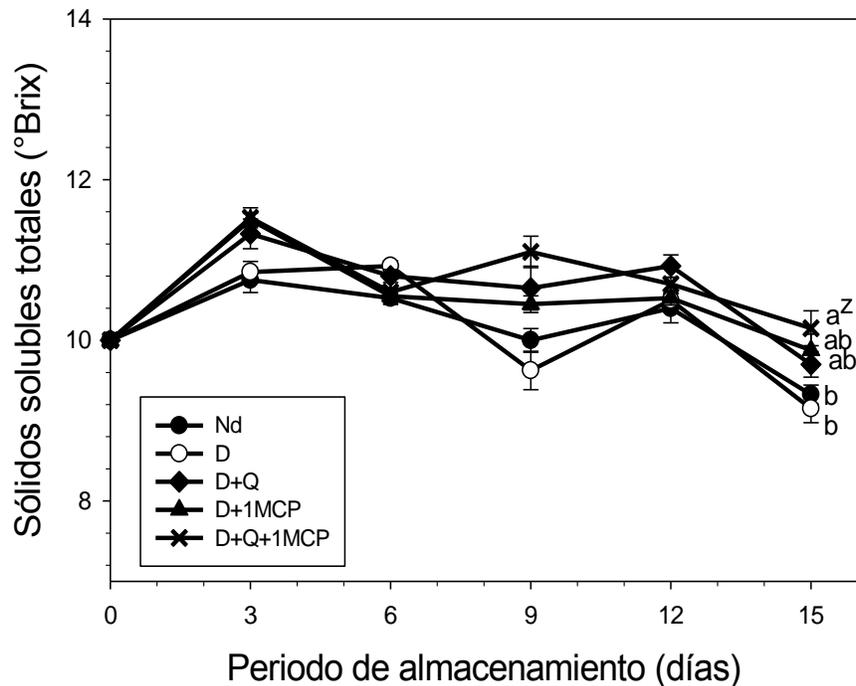


Figura 18. Efecto de diferentes tratamientos en frutos de pitaya *S. griseus* H. no desespínados (Nd), desespínados (D), desespínados con recubrimiento de quitosano + AO (D+Q), desespínados tratados con 1-MCP (D+1MCP) y desespínados con recubrimiento de quitosano + AO y tratados con 1-MCP (D+Q+1MCP) en los sólidos solubles totales (°Brix) durante 12 días de almacenamiento a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. Las barras verticales corresponden al error estándar.

^z Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$).

Los valores encontrados están dentro del rango de valores reportados por García-Cruz, Valle-Guadarrama, Salinas-Moreno y Luna-Morales (2016), Beltrán-Orozco, Oliva-Coba, Gallardo-Velázquez y Osorio-Revilla (2009), Sánchez (2006) y Martínez-González y Cruz-Hernández (1995) quienes mencionan haber observado valores entre 9.0 a 14.00 °Brix.

pH. A los 15 días de almacenamiento los frutos que presentaron valores más altos de pH fueron los desespínados tratados con 1-MCP (D+1MCP) además, incrementaron su pH con el tiempo de almacenamiento. En contraste, los frutos

de los tratamientos D+Q y D+Q+1MCP tuvieron valores de pH significativamente más bajos al de D+1MCP y no se observaron diferencias significativas en el tiempo (Figura 19). Lo anterior puede indicar que el recubrimiento de quitosano – AO mantienen el pH durante el almacenamiento.

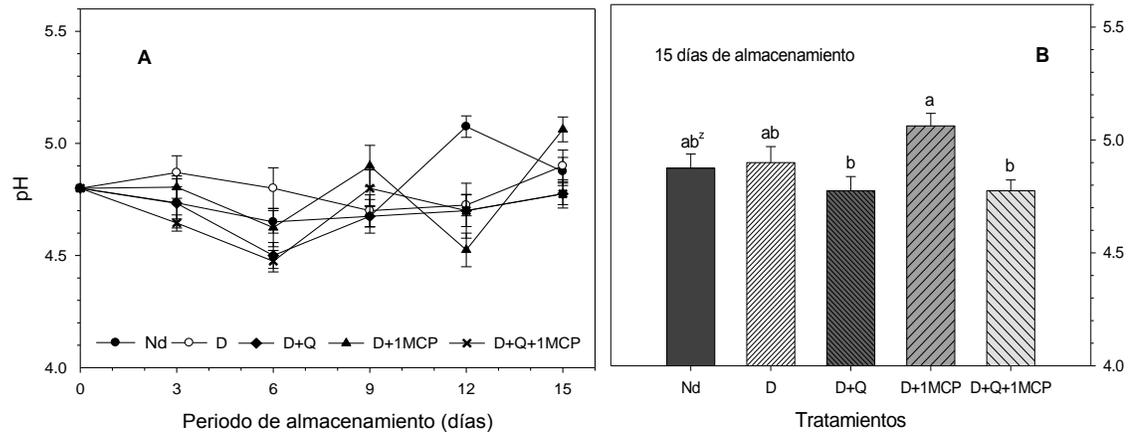


Figura 19. Efecto de diferentes tratamientos en frutos de pitaya *S. griseus* H. no desespinaados (Nd), desespinaados (D), desespinaados con recubrimiento de quitosano + AO (D+Q), desespinaados tratados con 1-MCP (D+1MCP) y desespinaados con recubrimiento de quitosano + AO y tratados con 1-MCP (D+Q+1MCP) en el cambio de pH durante 12 días de almacenamiento (A) a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. Las barras verticales corresponden al error estándar. ^² Letras iguales (B) indican diferencia no significativa (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$).

Los valores encontrados para esta variable van de 4.5 a 5.2, intervalo característico de los frutos de pitaya, García-Cruz et al. (2016), Beltrán-Orozco et al. (2009) y Sánchez (2006) reportaron valores entre 4.7 a 5.5.

Acidez titulable. La tendencia de esta variable siguió el mismo comportamiento en todos los tratamientos, pero no con la misma intensidad, a los 15 días de almacenamiento el tratamiento D+1MCP presentó un porcentaje de acidez significativamente menor en comparación con el tratamiento D+Q (Figura 20).

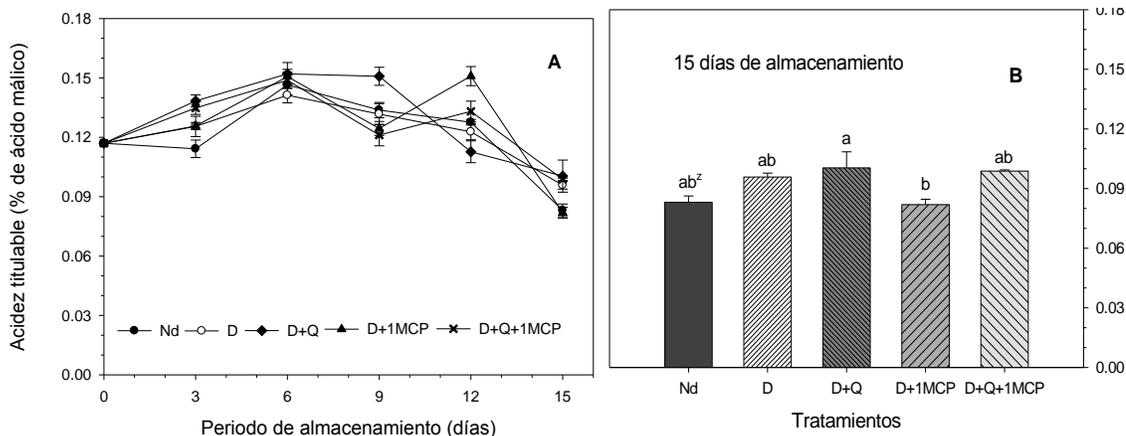


Figura 20. Efecto de diferentes tratamientos en frutos de pitaya *S. griseus* H. no desespinaados (Nd), desespinaados (D), desespinaados con recubrimiento de quitosano + AO (D+Q), desespinaados tratados con 1-MCP (D+1MCP) y desespinaados con recubrimiento de quitosano + AO y tratados con 1-MCP (D+Q+1MCP) en la acidez titulable (% de ácido málico) durante 12 días de almacenamiento (A) a 11 ± 1 °C y 93 ± 2 % HR. Las barras verticales corresponden al error estándar.

^z Letras iguales (B) indican diferencia no significativa (Tukey-Kramer, $P \leq 0.05$).

El intervalo de valores encontrados (0.08 a 0.015 % de ácido málico) coincide con lo reportado por Beltrán-Orozco et al. (2009) quienes concluyeron que los valores de acidez titulable en pitaya son bajos (0.04 a 0.18 % de ácido málico).

Los resultados encontrados para acidez son congruentes con los registrados para pH. Por lo que se puede explicar que el quitosano -AO influye en la conservación de la acidez de los frutos, mientras que el 1-MCP no tienen el mismo efecto, Guillén (2009), menciona que el efecto del 1-MCP sobre los sólidos solubles y la acidez varía mucho según el producto estudiado.

Incidenia de hongos. La incidenia de hongos patógenos se presentó después de 12 días de almacenamiento en los frutos de pitaya a los cuales no se aplicó recubrimiento de quitosano - AO, mientras que en frutos con recubrimiento de quitosano - AO la incidenia se detectó después de 15 días de almacenamiento. La mayoría de los informes indican que la estructura policatiónica del quitosano es un importante factor de su actividad antimicrobiana (Kong, Chen, Xing, & Park,

2010). Ochoa-Velasco y Guerrero-Beltrán (2014) observaron que los recubrimientos de quitosano retrasaron el crecimiento microbiano en variedades de tuna roja y blanca, sin importar la cantidad de ácido acético usado. De esta manera, los resultados obtenidos coinciden con las referencias documentales, para este caso en particular, el recubrimiento de quitosano adicionado con ácido mostró propiedades antifúngicas al retrasar la incidencia de hongos respecto a frutos sin recubrimiento. Los frutos con recubrimiento de quitosano-AO resultaron tener menor pH, mayor acidez y mayor firmeza, estas condiciones también pudieron influir en el retraso de la incidencia de hongos.

4.4. Conclusiones

En el presente estudio, se observó que el recubrimiento de quitosano adicionado con ácido oléico contribuyó a evitar la pérdida de firmeza, el incremento en SST y la disminución de la acidez de frutos de pitaya desespinaados, además retardó por tres días la incidencia de patógenos de esta manera el recubrimiento ensayado mantuvo la vida de anaquel de los frutos de pitaya desespinaados por 15 días, lo cual significó un incremento de tres días en la vida de anaquel respecto a frutos desespinaados sin recubrimiento. En todos los casos la vida de anaquel estuvo determinada por la incidencia de hongos.

Bajo las condiciones de este experimento, el 1-MCP por sí sólo no representó una alternativa que apunte a prolongar la vida de anaquel de la pitaya.

El patrón de respiración y el de producción de etileno evidenciaron un incremento semejante al que presentan los frutos climatéricos, sin embargo será necesario realizar investigación detallada para el entendimiento del comportamiento respiratorio y de producción de etileno en frutos de pitaya.

4.5. Literatura citada

- Adams-Phillips, L., Barry, C., & Giovannoni, J. (2004). Signal transduction systems regulating fruit ripening. *Trends in Plant Science*, 9, 331–338. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.05.004>
- Aguirre-Loredo, R. Y., Rodríguez-Hernández, A. I., & Chavarría-Hernández, N. (2014). Physical properties of emulsified films based on chitosan and oleic acid. *CYTA - Journal of Food*, 12, 305–312. <https://doi.org/10.1080/19476337.2013.853207>
- Armella, M. A., Yáñez-López, L., Soriano, J. S., & Ramírez, G. R. (2004). Phenology, postharvest physiology and marketing of pitaya (*Stenocereus griseus*, L.) as a sustainable resource. *Acta Horticulturae*, 598, 251–254. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.598.37>
- Balaguera-López, H., Salamanca-Gutiérrez, F., García, J., & Herrera-Arevalo, A. (2014). Etileno y retardantes de la maduración en la poscosecha de productos agrícolas. Una revisión. *Ciencias Hortícolas*, 8, 302–313. <https://doi.org/10.17584/rcch.2014v8i2.3222>
- Beltrán-Orozco, M. C., Oliva-Coba, T. G., Gallardo-Velázquez, T., & Osorio-Revilla, G. (2009). Ascorbic acid, phenolic content, and antioxidant capacity of red, cherry, yellow and white types of pitaya cactus fruit (*Stenocereus stellatus* Riccobono). *Agrociencia*, 43, 153–161. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v43n2/v43n2a7.pdf>
- Blankenship, S. M., & Dole, J. M. (2003). 1-Methylcyclopropene: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 28, 1–25. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00246-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00246-6)
- Bravo-Hollis, H. (1978). Las cactáceas de México. Vol. I. México: UNAM.
- Bravo-Hollis, H., & Sánchez-Mejorada, H. (1991). Las cactáceas de México, (3ª ed.) México: UNAM
- Cadena, M. J. A., & Castillo, M. A. (2002). Comparación de diferentes métodos para la estimación de componentes de varianza. *Agrociencia*, 36, 713-723.
- Correa, L. G. (2004). Análisis de Medidas Repetidas. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Cruz, H. J. P. (1985). Caracterización del fruto de 4 tipos de pitaya (*Stenocereus stellatus* Riccobono). (Tesis de Maestría., Centro de Fruticultura, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México).
- Deaquiz, Y. A., Álvarez-Herrera, J., & Fischer, G. (2014). Ethylene and 1-MCP affect the postharvest behavior of yellow pitahaya fruits (*Selenicereus megalanthus* Haw.). *Agronomía Colombiana*, 32, 44–51. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v32n1.41950>
- Dhall, R. K. (2013). Advances in Edible Coatings for Fresh Fruits and Vegetables:

- A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53, 435–450. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.541568>
- Dou, H., Jones, S. & Ritenour, M. (2005). Influence of 1-MCP application and concentration on post-harvest peel disorders and incidence of decay in citrus fruit. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 80, 786–792.
- García, C. L. (2014). Caracterización de frutos de pitaya de mayo (*Stenocereus pruinosus* (Otto Buxb.) y de agosto (*Stenosereus stellatus* (Pfeiff) en comportamiento poscosecha. (Tesis de Maestría Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México).
- García-Cruz, L., Salinas-Moreno, Y., & Valle-Guadarrama, S. (2012). Betalains, Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Pitaya de Mayo (*Stenocereus Griseus* H.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35, 1–5.
- García-Cruz, L., Valle-Guadarrama, S., Salinas-Moreno, Y., & Luna-Morales, C. del C. (2016). Postharvest quality, soluble phenols, betalains content, and antioxidant activity of *Stenocereus pruinosus* and *Stenocereus stellatus* fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 111, 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.07.004>
- Guillén, F. (2009). 1-MCP como estrategia de conservación. *Horticultura Internacional*, 69, 18–24.
- Imsabai, W., Ketsa, S., & Van Doorn, W. G. (2006). Physiological and biochemical changes during banana ripening and finger drop. *Postharvest Biology and Technology*, 39, 211–216. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.10.001>
- In, B. C., Strable, J., Binder, B. M., Falbel, T. G., & Patterson, S. E. (2013). Morphological and molecular characterization of ethylene binding inhibition in carnations. *Postharvest Biology and Technology*, 86, 272–279. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.07.007>
- Kerch, G. (2015). Chitosan films and coatings prevent losses of fresh fruit nutritional quality: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 46, 159–166. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.10.010>
- Kong, M., Chen, X. G., Xing, K., & Park, H. J. (2010). Antimicrobial properties of chitosan and mode of action: A state of the art review. *International Journal of Food Microbiology*, 144, 51–63. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2010.09.012>
- Kumar, P., Sethi, S., Sharma, R. R., Srivastav, M., & Varghese, E. (2017). Effect of chitosan coating on postharvest life and quality of plum during storage at low temperature. *Scientia Horticulturae*, 226, 104–109. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.08.037>
- Lamúa, S. M. (2000). Aplicación del frío en los alimentos. Madrid: AMV Ediciones.
- López-Mora, L. I., Gutiérrez-Martínez, P., Bautista-Baños, S., Jiménez-García, L. F., & Zavaleta-Mancera, H. A. (2013). Evaluation of antifungal activity of

- chitosan in *Alternaria alternata* and in the quality of “Tommy atkins” mango during storage. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, XIX, 315–331. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.07.038>
- Magaña-Benítez, W., Corrales-García, J. Colinas-León, T., & Cruz-Hernández, P. (1999). Tipos de empaque y temperaturas de frigoconservación en pitaya (*Stenocereus queretaroensis*). *Horticultura Mexicana*, 7, 426-430.
- Martínez-González, J. C., & Cruz-Hernández, J. P. (1995). Caracterización de frutos de pitaya *Stenocereus griseus* H. en la mixteca. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 4, 77–81.
- Ochoa-Velasco, C. E., & Guerrero-Beltrán, J. Á. (2014). Postharvest quality of peeled prickly pear fruit treated with acetic acid and chitosan. *Postharvest Biology and Technology*, 92, 139–145. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.01.023>
- Paul, V., Pandey, R., & Srivastava, G. C. (2012). The fading distinctions between classical patterns of ripening in climacteric and non-climacteric fruit and the ubiquity of ethylene-An overview. *Journal of Food Science and Technology*, 49, 1–21. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0293-4>
- Rosas-Benítez, A., Trujillo-Cárdenas, L., Valle-Guadarrama, S., Salinas-Moreno, Y., & García-Cruz, L. (2016). Quality attributes of pitaya (*Stenocereus pruinosus*) fruit handled in postharvest with and without thorns under refrigerated storage. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, XXII, 191–207. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.04.011>
- Sáenz-Hernández, C., Corrales-García, J., & Aquino-Pérez, G. (2002). Nopalitos, Mucilage, Fiber, and Cochineal. In Nober, P. (Ed.), *Cacti: Biology and Uses*. <https://doi.org/10.1525/california/9780520231573.003.0013>
- Sánchez, T. J. (2006). Aclareo de frutos de pitaya (*Stenocereus griseus*) en la región Mixteca baja Oaxaqueña. (Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Metropolitana, México).
- Serna, C. L., Torres, V. L. S., & Ayala, A. A. A. (2012). Effect of pre- and postharvest application of 1-methylcyclopropene on the maturation of yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw). *Vitae-Revista de la Facultad de Química Farmaceutica*, 19, 49–59.
- Sharma, M., Jacob, J. K., Subramanian, J., & Paliyath, G. (2010). chapingo. *Scientia Horticulturae*, 125, 239–247. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2010.03.020>.
- Thompson, J. F. (2002). Psicrometría y productos perecederos. In Kader A. A. Ed. *Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas*. (pp. 149-156). California: Universidad de California.
- Tovar, B., García, H. S., & Mata, M. (2001). Physiology of pre-cut mango. I. ACC and ACC oxidase activity of slices subjected to osmotic dehydration. *Food Research International*, 34, 207–215. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00154-X](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00154-X)

- Tripathi, K., Saurabh, P., Malik, M., & Kaul, T. (2016). Environmental and Applied Bioresearch. *Journal of Environmental and Applied Bioresearch*, 04, 27–34.
- Vargas, M., Albors, A., Chiralt, A., & González-Martínez, C. (2009). Characterization of chitosan–oleic acid composite films. *Food Hydrocolloids*, 23, 536–547. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2008.02.009>

5. CONCLUSIONES GENERALES

Los recubrimientos a base de quitosano adicionados con un componente hidrofóbico evaluados en la presente investigación (ácido oléico, cera de carnauba, candelilla y abeja) tuvieron efecto en la reducción de la pérdida fisiológica de peso.

Los resultados obtenidos para la tasa de respiración, producción de etileno y firmeza muestran que los frutos después de los seis días de almacenamiento presentan un descenso más pronunciado que puede marcar un aceleramiento en el proceso de senescencia.

En todos los casos la vida de anaquel estuvo determinada por la incidencia de hongos y se encontró que el responsable del deterioro de la pitaya es *Alternaria alternata*. En una prueba *in vitro* para evaluar la inhibición de crecimiento de micelio de este hongo, se observó que los recubrimientos con quitosano adicionados con cera de candelilla y el recubrimiento elaborado con 0.63 % v/v de ácido oléico y 0.9 % p/v de quitosano fueron los que tuvieron mayor efectividad en el control del crecimiento de micelio. Además el recubrimiento de quitosano-ácido oléico aplicado a frutos de pitaya retardó por tres días la incidencia de patógenos por lo que los frutos bajo este tratamiento tuvieron una vida de anaquel de 15 días respecto a la vida de anaquel de frutos desespinaados sin recubrimiento y desespinaados recubiertos con quitosano adicionado con cada una de las ceras evaluadas que fue de 12 días. También, se observó que este recubrimiento contribuyó a evitar la pérdida de firmeza, el incremento en SST y la disminución de la acidez en frutos de pitaya desespinaados.

Bajo las condiciones de este experimento, el 1-MCP por sí sólo no representó una alternativa que apunte a prolongar la vida de anaquel de la pitaya.

Los resultados de un experimento que formó parte de la presente investigación respecto a la tasa respiratoria y la producción de etileno evidencian un incremento característico de frutos climatéricos, sin embargo será necesario realizar investigación detallada para el entendimiento del comportamiento respiratorio y de producción de etileno en frutos de pitaya.

6. RECOMENDACIONES

Los resultados observados del comportamiento respiratorio y de producción de etileno en frutos de pitaya sugieren que es necesario conducir trabajos de investigación detallados para su caracterización y entendimiento.

Realizar pruebas *in vivo* de inhibición de la incidencia de patógenos responsables del deterioro de frutos de pitaya (comprobación de los postulados de Koch).
