

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

INSTITUTO DE HORTICULTURA

Atmósferas Modificadas y Frigoconservación de frutos de

***Hylocereus undatus* Haw**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**DOCTOR EN CIENCIAS
EN HORTICULTURA**



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

PRESENTA:

SWEETIA PAULINA RAMÍREZ RAMÍREZ



Instituto de Horticultura

MAYO 2006

Chapingo, Estado de México

**Atmósferas Modificadas y Frigoconservación de frutos de
Hylocereus undatus Haw**

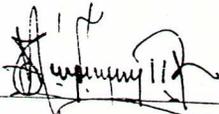
Tesis realizada por Sweetia Paulina Ramírez Ramírez bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

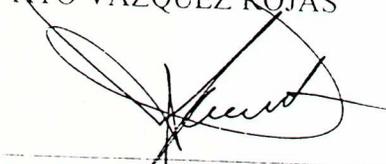
DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR: 
DRA. MA. TERESA MARTÍNEZ DAMIÁN

ASESORA: 
DRA. MA. TERESA COLINAS LEÓN

ASESOR: 
DR. ALEJANDRO F. BARRIENTOS PRIEGO

ASESOR: 
DR. NITO VÁZQUEZ ROJAS

LECTOR EXTERNO 
DR. RAÚL NIETO ÁNGEL

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Autónoma Chapingo** por permitirme continuar con mi superación personal.

A la Dra. Ma. Teresa Martínez Damián por presidir el Consejo Asesor y dirigir la presente investigación, por su gran apoyo, paciencia y dedicación para que este proceso terminara exitosamente.

A la Dra. María Teresa Colinas León, por formar parte del Consejo Asesor, por su excelente disponibilidad, asesoría y colaboración en la realización de la tesis.

Al Dr. Alejandro Barrientos Priego por formar parte del Comité Asesor, por el invaluable apoyo académico, así como por su paciencia en la revisión de los escritos.

Al Dr. Tito Vásquez Rojas por formar parte del Comité Asesor, por su desinteresado apoyo y por su valiosa enseñanza estadística.

Al Dr. Raúl Nieto Ángel por su colaboración como lector externo y por la revisión de la tesis.

A la Sra. Ángela Barrera Cortés y al Sr. Cecilio Bautista Bañuelos por su asesoría y excelente apoyo en el trabajo de laboratorio.

A todos los profesores del Programa de Posgrado en Horticultura del Departamento de Fitotecna por sus múltiples enseñanzas durante mis estudios.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico recibido para el cumplimiento de mis estudios de doctorado.

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico recibido para la realización de la tesis.

DATOS BIOGRÁFICOS

La autora del presente trabajo, Ingeniero Agrónomo Especialista en Zonas Tropicales SWEETIA PAULINA RAMÍREZ RAMÍREZ, es originaria de Celaya, Gto. Realizó estudios de Educación Superior en la Universidad Autónoma Chapingo con sede en Teapa, Tabasco, donde cursó la carrera de Ingeniero Agrónomo Especialista en Zonas Tropicales con orientación en Horticultura Ornamental durante 1994 a 1999. Realizó la Maestría y Doctorado en Ciencias en Horticultura en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo durante los periodos 2000-2001 y 2002-2005, respectivamente.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN GENERAL	VI
GENERAL ABSTRACT.....	IX
I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
II. CAMBIOS FISIOLÓGICOS DE FRUTOS <i>Hylocereus undatus</i> HAW. DURANTE POSTCOSECHA Y EL USO DE ATMÓSFERAS MODIFICADAS A TEMPERATURA AMBIENTE	6
RESUMEN.....	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN.....	9
MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
RESULTADOS Y DICUSIÓN	15
CONCLUSIONES.....	31
LITERATURA CITADA.....	32
III. CAMBIOS FISIOLÓGICOS POSTCOSECHA EN PITAHAYA <i>Hylocereus undatus</i> HAW. CON REFRIGERACIÓN Y PELÍCULAS PLÁSTICAS.....	36
RESUMEN.....	37
ABSTRACT	38
INTRODUCCIÓN.....	39
MATERIALES Y MÉTODOS.....	41
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	46
CONCLUSIONES.....	69
LITERATURA CITADA.....	70
IV. ACTIVIDAD ENZIMÁTICA EN FRUTOS DE <i>Hylocereus undantus</i> HAW. DURANTE POSCOSECHA Y CON EL USO DE ATMÓSFERAS MODIFICADAS.....	76
RESUMEN.....	77
ABSTRACT	78

INTRODUCCIÓN.....	79
MATERIALES Y MÉTODOS.....	81
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	85
CONCLUSIONES.....	102
LITERATURA CITADA.....	102
VI. CONCLUSIONES GENERALES.....	108

RESUMEN GENERAL

El objetivo del presente estudio fue conocer y evaluar los cambios fisiológicos, bioquímicos y enzimáticos en poscosecha de frutos de pitahaya usando dos películas plásticas y dos temperaturas. Las películas plásticas fueron una de baja densidad (PBD) y la película multicapa PD-960 de Cryovac y almacenados a 20 ± 1 y $5 \text{ }^\circ\text{C}$ con cuatro periodos de duración en refrigeración. Las evaluaciones se realizaron cada tres días. Después del almacenamiento en frío los frutos fueron expuestos a temperatura ambiente ($20 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$) hasta por 12 días. Se evaluaron al momento de la salida de refrigeración y posteriormente cada tres días. En frutos almacenados a $20 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ se encontró que con la película PBD y en el testigo los sólidos solubles totales continuaron incrementando hasta el noveno día ($12 \text{ }^\circ\text{Brix}$) de almacenamiento por lo que se conservó el peso y favoreció la calidad visual, se logró menor pérdida (60%) de ácido cítrico en los frutos. Existió diferencia en pérdida de peso entre los frutos testigo y los cubiertos, siendo en estos últimos < 1 % de pérdida de peso.

El uso de películas benefició la apariencia de la fruta hasta el noveno día de almacenamiento, sin embargo, no detuvieron el decremento de la vitamina C ($7 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de peso fresco), influyeron en el incremento de la producción de etanol y acetaldehído pero éstos no influyeron significativamente en el sabor, se presentó una acumulación de CO_2 .

En frutos almacenados a 5 °C con película PBD conservaron más azúcares solubles totales (11.65 ° Brix) y firmeza (17 kg fuerza). Se encontró que el máximo tiempo de almacenamiento en frío es de 16 días para evitar una disminución drástica del contenido de ácido ascórbico y el decremento de la calidad visual ya que a mayor tiempo de almacenamiento en frío menor es la duración a temperatura ambiente. Los frutos con película PD-960 fueron los que tuvieron mayor respiración.

En el comportamiento enzimático se evaluó la actividad de la catalasa (CAT), peroxidasa (POX), polifenoloxidasas (PFO) y la pectinmetiltransferasa (PME), y la producción de etileno. La producción de etileno se relacionó con la concentración de proteína soluble.

Durante el almacenamiento a temperatura ambiente la actividad de PFO disminuyó con y sin película plástica, mientras que PME y POX tuvieron menor actividad con película plástica.

Las películas plásticas disminuyeron la actividad de PPO, POX y CAT de los frutos que fueron almacenados a 5 °C y transferidos a temperatura ambiente. El tiempo de almacenamiento en frío no influyó en la actividad de PFO pero el uso de películas si, la presencia de ésta marcó diferencias ($P \leq 0.05$) con el testigo disminuyendo la actividad en un 50 %.

La refrigeración disminuyó significativamente ($P \leq 0.05$) la actividad de POX y CAT al 50 %, al ser transferidos los frutos a temperatura ambiente la actividad se incrementó. En los frutos con película plástica y refrigeración la actividad

de PPO, POD y CAT fue significativamente ($P \leq 0.05$) menor, 21, 33 y 7 $U \cdot g^{-1}$ de peso fresco respectivamente, que en los frutos testigo después de que se transfirieron a temperatura ambiente. La actividad POX se relacionó con los contenidos de proteína.

Los días de refrigeración influyeron significativamente ($P \leq 0.05$) en la actividad de PME, fue mayor en los frutos con película PD-960 y 32 días de refrigeración (74 $U \cdot g^{-1}$ de peso fresco), sin embargo, la actividad de PME no influyó en la firmeza de los frutos. La disminución de la actividad enzimática se vio favorecida con el uso de las películas plásticas en frutos almacenados en frío no existiendo diferencias ($P \leq 0.05$) entre películas.

En general el uso de las películas plásticas y la refrigeración favorecieron las características bioquímicas y físicas de los frutos por más tiempo. Se encontró que los mejores factores para almacenar la pitahaya fueron la película PBD y con una duración máxima de 16 días de almacenamiento a 5 °C más doce días a temperatura ambiente.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Hylocereus undatus*, postcosecha, películas plásticas, refrigeración, enzimas

GENERAL ABSTRACT

The aim of this study was to know and evaluate the physiological, biochemical and enzymatic changes using plastic films in pitahaya fruits stored at 20 ± 1 , and $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ with four periods of chilling. The evaluations were carried out every three days. After low temperature storage the fruits were exposed to room temperature ($20 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$) up to 12 days. They were evaluated at the moment of room temperature exposure and subsequently every three days. Two types of plastic films were utilized; low density polyethylene (PBD) and multilayered film PD-960 from Cryovac. In fruits stored to $20 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ there was found that with film PBD and control the total soluble solids continued increasing to the ninth day of storage. With plastic film the loss of citrus acid was 60 % less. Difference in loss of weight between control and plastic films, the fruits with the film did not reach the 1 % of loss of weight. The use of the films was benefic to appearance by the ninth day of storage. The films did not reduced the loss of vitamin C, they influenced in the production of ethanol and acetaldehído, nevertheless, these did not reflected significantly in flavor. There were accumulation of CO_2 in the fruits with plastic film not the same for ethylene. In fruits stored at $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ was found that the use of films influenced favorably to the conservation of the weight since the loss of weight in the fruits with film was not greater al 1 % at the end, for which the visual quality was seen favored. The film PBD conserved more total soluble sugars and firmness. It was found that the maximum time of storage in cold is of 16 days to avoid a decrease of ascorbic acid and the decrement of the visual

quality since the more time of chilling the duration at room temperature decreased. The fruits with film PD-960 were the ones that had greater respiration rate. It was found that the film PBD and 16 days of cooling to 5 °C were the best combination for storage. In the enzymatic behavior of catalase (CAT), peroxidase (POX), polyphenoloxidase (PFO) and pectinmethylesterase (PME) were evaluated. The production of ethylene was related to the concentration of soluble protein. The activity of PFO was reduced during the storage to temperature environment, the time of storage in cold did not influence in the activity of PFO but the use of films did, and was reduced in 50 %. The maximum activity of POX is the same as the maximum contents of protein, the use of plastic films was significant different ($P \leq 0.05$) compare to control, the chilling reduced activity up to 50 %, when fruits were transferred to room temperature activity increased. The activity of CAT reduced significantly ($P \leq 0.05$) during chilling, nevertheless, when fruits transferred to room temperature activity increased, in the fruits with plastic film the activity was significantly ($P \leq 0.05$) less ($7 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ of fresh weight). The PME activity was higher in fruits with film PD-960, the days of chilling influenced significantly ($P \leq 0.05$) the fruits had higher activity with 32 days, but, the activity of PME did not influence in fruit firmness.

In general, the use of the plastic films favored the biochemical and physical characteristics of the fruits by more time, as the same with cold storage with a maximum duration of 16 days. The decrease of the enzymatic activity was seen

avored with the use of the plastic films in fruits stored in cold not existing you
differentiate ($P \leq 0.05$) among films.

ADDITIONAL KEY WORDS: *Hylocereus undatus*, postharvest, plastic films,
low temperature, enzymes

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

En el reino vegetal, las cactáceas son los principales recursos potenciales para la producción de alimentos y la industria. La pitahaya, al igual que otras cactáceas, ha desarrollado modificaciones estructurales y mecanismos fisiológicos que le permiten establecerse en el corto plazo en ambientes semiáridos, subtropicales y tropicales. Pudiendo sobrevivir en condiciones adversas de agua, salinidad y temperaturas extremas (Ortiz, 2002).

Las pitahayas son plantas silvestres que se han recolectado y aprovechado durante cientos de años, incluso desde antes de la llegada de los españoles al continente americano. En el siglo pasado se trasladaron como un componente más de los diversificados huertos familiares y desde hace 20 años empezaron a manejarse como cultivo en plantaciones especializadas. La secuencia histórica en el aprovechamiento y cultivo de las pitahayas (de la recolección a los huertos familiares, y de éstos a las plantaciones comerciales) es la misma por la que han pasado todos los países productores de América, con diferencias en la importancia de la producción en los huertos familiares, y en el ritmo de establecimiento de plantaciones especializadas. Es distinta la situación de los países asiáticos, adonde se llevaron desde el siglo antepasado y se incorporaron como una planta más en los huertos familiares, o en Italia e Israel, países en los que se establecieron como cultivo experimental hace pocos años (Rodríguez, 2000).

En la actualidad el beneficio que la pitahaya de cáscara roja y pulpa blanca (*Hylocereus undatus*), aporta al productor tradicional es importante debido al alto valor económico que ésta adquiere, en relación a la reducida o nula inversión que hasta ahora se ha realizado para su producción, por lo que es posible considerarla como un cultivo alternativo de alto potencial comercial, principalmente para las áreas subtropicales y tropicales (Ortiz, 1999).

La pitahaya se cultiva tanto en México, Vietnam, Taiwán y comercializada más recientemente en Israel. Los dos primeros países comenzaron a colocarla en el mercado internacional, al que recientemente se incorporó Israel. El peso promedio de un fruto es de 370 g, contiene entre 10 y 12 °Brix y en general tienen mucha variación en cuanto a forma, tamaño, color y sabor. Israel produce fruta bastante uniforme, que evidentemente corresponde a una variedad formada en ese país a partir de materiales colectados en México y Centroamérica (Rodríguez, 2000). Debido a su sabor, color atractivo y alto valor nutrimental su mercado se ha expandido (Van *et al.*, 2002).

Países como Italia, Brasil, Alemania, Colombia, Chile, Sudáfrica e Israel han incrementado considerablemente la investigación en cactáceas. En Israel, cuyo ambiente es árido, producen la pitahaya en invernaderos o bajo cubiertas de malla sombra. Debido a la demanda de países como Estados Unidos, Japón, Canadá y Europa, el cultivo se ha incrementado, sin embargo, su explotación debe estar apoyada por la investigación (Ortiz, 2002).

En la actualidad en México se han estado haciendo investigaciones sobre el cultivo y la producción, sin embargo se necesita información también sobre el manejo postcosecha. El momento de cosecha debe ser definido cuidadosamente para cada fruta ya que esto influyó en la evolución postcosecha y en la madurez de consumo. Para el caso de la pitahaya se ha determinado que el índice de cosecha es cuando la parte basal del fruto muestra cambios de coloración de verde a rosa intenso, sin embargo, es importante conocer el comportamiento fisiológico del fruto para poder dar un manejo apropiado durante la etapa de postcosecha, ya que después de cosechados los frutos experimentan una serie de cambios involucrados con la maduración (Arévalo y Ortiz, 2004).

Existen un gran número de tecnologías postcosecha, estas tecnologías proveen un valor agregado al extender la vida postcosecha de los productos hortofrutícolas. Además representan un componente esencial en el proceso de industrialización y globalización de las industrias hortícolas. La temperatura es la tecnología básica para controlar la maduración de los productos, ésta puede combinarse con otras tecnologías, como son la humedad relativa controlada, atmósferas controladas o modificadas, empaque y tratamientos químicos. La combinación de tecnologías puede tener una relación sinérgica pudiendo resultar más efectivas que la tecnología por sí misma. Las bajas temperaturas generalmente reducen la sensibilidad al etileno y la producción de etileno puede ser tanto estimulada o inhibida. Las consecuencias en el cambio de la producción o sensibilidad pueden ser tanto positivas como negativas para la calidad del producto. Las bajas temperaturas generalmente mantienen niveles deseados de azúcar, acidez y otros compuestos de sabor en los productos hortícolas (Watkins y Ekman, 2005).

Dentro de las tecnologías antes mencionadas están las atmósferas modificadas (AM), las cuales mantienen la fruta en óptimas condiciones retrasando la senescencia (Remon *et al.*, 2000), las AM afectan la tasa de respiración de los frutos, conservando su firmeza y reduciendo la deshidratación por pérdida de agua (Kader, 1992), sin embargo, hay que reconocer que así como pueden mejorar o conservar las características deseables del fruto pueden también inducir efectos no deseables como fermentación debido a la disminución de los niveles de O₂ provocándose la respiración anaerobia. Se han utilizado AM con concentraciones altas de CO₂ y se ha observado que son particularmente efectivas para inhibir la decoloración enzimática, previenen la fermentación e inhiben el crecimiento microbiano tanto aeróbico como anaeróbico (Day, 2001).

Aprovechando las bondades del desarrollo de tecnologías postcosecha, se decidió hacer una evaluación en los frutos de pitahaya, utilizando AM y bajas temperaturas con la finalidad de prolongar su vida de anaquel, para darle un valor agregado a los frutos cuando estos sean comercializados en el mercado nacional o exportación.

OBJETIVO

Conocer y evaluar el comportamiento bioquímico, fisiológico y enzimático de frutos de *Hylocereus undatus* Haw durante la postcosecha durante el almacenamiento en ambiente y a bajas temperturas.

LITERATURA CITADA

- ARÉVALO G., M. L.; ORTIZ H., Y. D. 2004. Comportamiento poscosecha del fruto de la pitahaya (*Hylocereus undatus*). *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 49(3): 85-90.
- KADER, A. A. 1992. Modified atmosphere during transport and storage, pp. 85-92. *In: Postharvest Technology of Horticultural Crops*. KADER, A. A. (ed.). University of California Davis. Oakland, California, USA.
- ORTIZ H., Y. 1999. Pitahaya: Un nuevo cultivo para México. Edit. Limusa. D.F. México. 111 p.
- ORTIZ H., Y. 2002. ¿Pitahaya o fruta del dragón? *Conversus* 10: 18-21.
- REMON, S.; FERRER, A.; MARQUINA, P.; BURGOS, J.; ORIA, R. 2000. Use of modified atmospheres to prolong the postharvest life of Bulat cherries at two different degrees of ripeness. *J. Sci. Food Agri.* 80: 1545-1552.
- RODRÍGUEZ C.; A. 2000. Producción y comercialización de pitahaya en México. *Claridades Agropecuarias* 82: 3-22.
- VAN, T. L.; NGU, N.; DUY, D. N.; THANH, H. H. T. 2002. Dragon fruit quality and storage life: effect of harvesting time, use of plant growth regulators and modified atmosphere packaging. *Acta Hort.* 575: 611-621.
- WATKINS C.,B.; EKMAN J., H. 2005. Storage technologies: temperature interactions. *Acta Hort.* 682: 1527-1533.

**II. CAMBIOS FISIOLÓGICOS DE FRUTOS *Hylocereus undatus* HAW.
DURANTE POSTCOSECHA Y EL USO DE ATMÓSFERAS
MODIFICADAS A TEMPERATURA AMBIENTE**

II. CAMBIOS FISIOLÓGICOS DE *Hylocereus undatus* Haw. DURANTE POSTCOSECHA Y EL USO DE ATMÓSFERAS MODIFICADAS A TEMPERATURA AMBIENTE

S. P. Ramírez-Ramírez¹*, M. T. Martínez-Damián¹; M. T. Colinas-León¹; A. F. Barrientos-Priego¹,
T. Vásquez-Rojas

¹Posgrado en Horticultura, Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5
Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. C.P. 56230. MÉXICO.

sweetia@correo.chapingo.mx (*autor responsable).

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue conocer los cambios fisiológicos al usar películas plásticas en frutos de pitahaya al almacenarlos a temperatura ambiente (20 °C). Se utilizaron dos tipos de películas plásticas, una de baja densidad (PBD) y película multicapa PD-960 de Cryovac. Se encontró que con la película PBD y testigo los sólidos solubles totales continuaron incrementando hasta el noveno día de almacenamiento, se tuvo menor pérdida de ácido cítrico en los frutos con película plástica siendo ésta de 60 %. Existieron diferencias en pérdida de peso entre los frutos testigo y los cubiertos, estos últimos no alcanzaron el 1 % de pérdida de peso. El uso de las películas benefició la apariencia de la fruta hasta el noveno día posteriormente no hubo diferencias. No se evitó la pérdida de vitamina C con el uso de las películas, mientras que éstas sí influyeron en la producción de etanol y acetaldehído, sin embargo, estos no repercutieron significativamente en el sabor. Se presentó una acumulación de CO₂ en los frutos con película plástica.

Palabras clave adicionales: pitahaya, películas plásticas, ácido ascórbico, etanol, acetaldehído, respiración.

Physiological changes of *Hylocereus undatus* (Haw.) during postharvest with modified atmospheres.

ABSTRACT

The aim of this study was to know the physiological changes suffered al to use plastic films in fruits of pitahaya al to store them to 20 °C. Two types of plastic bags were used, one of low density polyethylene (PBD) and multilayered film PD-960 of Cryovac. It was found that with the film PBD and in the control the concentration of SST continues increasing to the ninth day of storage, and showed a lower of citric acid in the fruits with plastic film that was around 60 %. There were differences in loss of weight between the control fruits and the ones with films, these ones did not reach 1 % of weight loss. The use of the films showed a benefit to the appearance of the fruit until the ninth day subsequently there were not differences. The loss of vitamin C was not diminished by the films, while they influenced in the production of ethanol and acetaldehyde, nevertheless, these did not affected significantly the flavor. There was an accumulation of CO₂ in the fruits with plastic film as opposed to the ethylene.

Additional key words: Dragon fruit, plastic bags, ascorbic acid, ethanol, acetaldehyde, respiration.

INTRODUCCIÓN

Una de las formas de la optimización del uso del agua, es la utilización de especies con bajos requerimientos de agua como pueden ser las cactáceas, ya que además pueden vivir en condiciones adversas de salinidad y temperatura pudiéndose producir en zonas semisecas y secas. Existen varias especies que han sido sobreexplotadas ocasionando que se encuentren en peligro de extinción, sin embargo hay otras cuya explotación ha sido limitada y que tienen importancia como alimento humano, tal es el caso del género *Hylocereus* del cual se sabe que existen 27 especies pero solo 19 tienen descripciones taxonómicas (Rodríguez, 2000).

En los últimos años una de las especies que ha tenido gran aceptación mundial es *Hylocereus undatus* (Haw.), el atractivo color rojo rosado de la cáscara resulta llamativo a los consumidores, además de que posee brácteas color verde las cuales contrastan con el color de la cáscara, por lo que el fruto es muy vistoso y la pulpa es de color blanca. En México durante la época prehispánica se le conocía como cuahnochtli (nopal de árbol), actualmente recibe los nombres de “tasajo”, “pitahaya reina de la noche” y en algunos lugares a últimas fechas se le conoce como kiwi mexicano. A nivel mundial se le conoce como “pera fresa”, “fruta dragón” o “fruta roja del edén” (Ortiz, 2000; Rodríguez, 2000). Esta especie se cultiva tanto en México, como en Vietnam, Taiwán y más recientemente en Israel, siendo México y Vietnam los que comenzaron a colocarla en el mercado internacional (Rodríguez, 2000).

El consumo de esta fruta se ha incrementado en países como Estados Unidos, Japón, Canadá y en los países de la Unión Europea, por lo que su cultivo se ha extendido y su explotación

así como su manejo postcosecha deben estar apoyados por investigación, para incrementar el periodo postcosecha sin que se pierda la calidad de los frutos.

Dentro de la diversidad de técnicas postcosecha se encuentran las atmósferas modificadas (AM), las cuales mantienen la fruta en óptimas condiciones retrasando la senescencia (Remon *et al.*, 2000), las AM tienen su efecto en la tasa de respiración de los frutos, conservando su firmeza y reduciendo la pérdida de agua de los frutos (Kader, 1992). El éxito del uso de AM dependerá de varios factores, entre ellos, el tipo de fruta, grado de madurez, temperatura de almacenamiento, el tipo de película y su permeabilidad, y la relación superficie volumen entre el fruto y la película (Skog *et al.*, 2003). Por los motivos expuestos anteriormente el objetivo de este estudio fue determinar los cambios fisiológicos durante la maduración con AM de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del experimento se usaron frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) cáscara roja y pulpa blanca, provenientes de la zona productora de Tehuacán, Puebla, México. Los cuales inmediatamente después de ser cosechados fueron trasladados al Laboratorio, donde se distribuyeron en sus respectivos tratamientos. Los frutos se evaluaron en atmósferas modificadas a temperatura ambiente ($20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Las películas plásticas utilizadas fueron:

Poliétileno de baja densidad (PBD) de calibre 150 (1.5 milésimas de pulgada de espesor) con una permeabilidad al O_2 del $1.62 \times 10^6 \text{ cc}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{atm}^{-1}$ y al CO_2 de $2.38 \times 10^5 \text{ cc}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{atm}^{-1}$.

Película multicapa Cryovac PD-960, de calibre 125 (equivalente a 1.25 milésimos de pulgada con una permeabilidad al oxígeno de $6,000-8,000 \text{ cc}\cdot\text{m}^{-2}\cdot 24 \text{ h}^{-1}$ (73 °F a 1 atm) y de $19,000-22,000 \text{ cc}\cdot\text{m}^{-2}\cdot 24 \text{ h}^{-1}$ (73 °F a 1 atm) al CO_2 .

Los frutos fueron lavados, desinfectados (Benlate $10 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$), secados y preparados con su respectiva película plástica. Se seleccionaron frutos lo más homogéneos posible en cuanto a tamaño y color, ya que el color es un buen indicador del grado de madurez, se revisaron que no estuvieran dañados mecánicamente o por insectos.

Se generaron tres tratamientos que fueron: frutos testigo, frutos con polietileno de baja densidad (PBD) y frutos con polietileno PD-960. El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro repeticiones, siendo la unidad experimental un fruto. Siendo un total de 20 frutos por tratamiento. Los frutos se expusieron durante 15 días a temperatura ambiente. Las evaluaciones se hicieron cada tres días, se utilizaron cuatro frutos por tratamiento por cada día de evaluación.

Evaluación de variables

Sólidos solubles totales (SST)

Los sólidos solubles totales ($^{\circ}\text{Bx}$) se determinaron mediante un refractómetro manual marca Binko.

Acidez titulable

La acidez titulable representa el contenido mayor de ácidos libres del jugo, contribuyendo en mayor medida el ácido cítrico con alrededor del 85 al 90 %. Esta variable se determinó de acuerdo a la metodología propuesta por la AOAC (1990), para la cual se tomaron 10 g de pulpa que fueron neutralizados con NaOH 0.01 N utilizando fenoftaleína como indicador.

Finalmente el resultado se reportó como porcentaje de ácido cítrico.

Relación SST/Acidez

La relación SST/acidez es un indicador confiable del grado de madurez y es un buen indicador como índice de calidad. Su determinación se realizó en función del cociente °Bx y acidez (%).

Pérdida de peso

Para estimar el porcentaje la pérdida de peso se registró diariamente el peso de los frutos utilizando una balanza granataria, y se aplicó la siguiente fórmula: pérdida de peso (%)=[(peso inicial – peso final)/peso inicial]x100

Firmeza

Se determinó con ayuda de un penetrómetro mediante un puntal en forma de cono de 0.5 cm de diámetro y altura registrándose las lecturas en kg fuerza. Se quitó la cáscara en la zona central de la fruta (eje ecuatorial) y sobre la pulpa se hizo la medición.

Apariencia

Tomando en cuenta la apariencia de la cáscara, se calificó por medio de una escala de intervalo que se analiza empleando pruebas estadísticas paramétricas (Watts *et al.*, 1992). Se trazó una línea de 5 cm donde cero fue excelente y cinco muy mala apariencia, se observó la muestra y se ubicó un punto dentro de la recta según se consideraba la apariencia. Posteriormente se midió del cero al punto y se tomó la distancia (cm) de cada muestra para hacer el análisis de varianza.

Azúcares totales

Fueron determinados utilizando 1 g de peso fresco de pulpa. Se hizo una extracción con alcohol etílico al 70 % hasta evaporación. Posteriormente se determinó el contenido de azúcares totales por el método colorimétrico con antrona descrito por Witham *et al.* (1971). La estimación de los azúcares totales se hizo a partir de una curva patrón de solución de glucosa al 1 % ($0.1 \text{ mg}\cdot\text{ml}^{-1}$) con agua destilada. Se tomaron diferentes volúmenes (0.2, 0.4, 0.4, 0.8 y 1 ml) se aforaron a 1 ml con agua destilada y se siguió el procedimiento del método con antrona.

Vitamina C

La determinación de vitamina C se realizó de acuerdo al método de Tillman (AOAC, 1990) conocido como DFI-2, 6 diclorofenolindofenol, el contenido de ácido ascórbico se estimó mediante la maceración de muestra con un agente estabilizante como ácido oxálico (para mantener propia la acidez para la reacción y evitar auto-oxidación del ácido ascórbico a alto pH) y reducción del 2,6 diclorofenol-indofenol (solución de Tillman). Se estimó a partir de 5 g de pulpa homogenizados con 50 ml de ácido oxálico, tomando una alícuota de 10 ml.

Etanol y Acetaldehído

La cuantificación de etanol y acetaldehído se determinó por cromatografía de gases, mediante la técnica de espacio de cabeza propuesta por Davis y Chase (1969). Se tomaron muestras de pulpa por tratamiento y día de análisis y se colocaron en un vial, se sellaron y almacenaron a $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su análisis. Para el análisis se incubaron a baño maría a $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ por 10 min. Una vez salidos de la incubadora se agitaron 5 segundos en vortex para tubos.

Se tomó 1 ml del espacio libre del vial y se inyectó en un cromatógrafo de gases Varian 3400. Para determinar los tiempos de retención del etanol y acetaldehído se inyectaron muestras que contenían a estos compuestos puros tratados con el mismo procedimiento descrito para la muestra. Se preparó una solución madre con una concentración de 174 mg·litro⁻¹ de etanol y 31.4 mg·litro⁻¹ de acetaldehído y se inyectaron varias cantidades (0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1 ml) para obtener la curva patrón de cada compuesto y poder hacer el cálculo del contenido de cada uno en la pulpa.

Las condiciones de operación del cromatógrafo para la determinación de ambos volátiles fueron: helio como gas de acarreo, 170 °C de temperatura en el inyector, 160 °C en la columna y 170 °C en el detector de ionización de flama FID.

Sabor

Se calificó por medio de una escala de intervalo que se analiza empleando pruebas estadísticas paramétricas (Watts *et al.*, 1992). Se trazó una línea de 5 cm donde cero implicaba mal sabor y cinco muy buen sabor, se probó la muestra y se ubicó un punto dentro de la recta según se consideraba el sabor de malo a muy bueno. Se midió del cero al punto y se tomó la distancia (cm) de cada muestra para hacer el análisis de varianza.

Tasa de respiración y producción de etileno

La respiración y el etileno se cuantificaron por el método de respiración estática en el cual el fruto se colocó en un recipiente hermético de volumen conocido por una hora definido para el caso de los frutos sin película plástica, en los frutos con cubierta se colocó un adherencia de silicón, se tomaron 5 ml de aire y se conservaron en Vacutainer a -20 °C hasta su lectura. Las muestras fueron leídas con un cromatógrafo de gases marca Varian modelo 3400 con

una columna Poropak 80/100 de 2 m x 1/8", la temperatura del horno fue de 80 °C y el detector de 150 °C, como estándar se utilizó etileno (INFRA) 103 mg·litro⁻¹ y CO₂ (INFRA) 399 mg·litro⁻¹. El gas de arrastre fue helio con un flujo de 32.3 ml·min⁻¹ y la cantidad de muestra inyectada fue de un ml el cual fue tomado con una jeringa hipodérmica.

Análisis estadístico

Se hizo un análisis de varianza de un diseño completamente al azar y comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) con el programa SAS (Statistical Analysis System Institute Inc.) y se hicieron gráficas con el programa SigmaPlot.

RESULTADOS Y DICUSIÓN

Durante el experimento se presentó una disminución de los SST (Cuadro1) en los frutos, principalmente con la película PD-960. Al sexto y noveno día de almacenamiento hubo diferencias ($P \leq 0.05$) entre tratamientos, al sexto día con la película PBD se tuvo mayor cantidad de SST mientras que para el noveno día con PD-960 fue menor. Al término del experimento no hubo diferencias entre tratamientos. Una vez que el color del fruto es uniforme se tiene la máxima concentración de SST (Nerd *et al.*, 1999) y es poca la variación que hay durante el almacenamiento, en el presente estudio la máxima concentración de SST en los frutos se mantuvo hasta el noveno día después de cosechados, en los días subsecuentes decreció.

Según Arévalo y Ortiz (2004) los SST fueron incrementando hasta ocho días después de cosechados, en el presente experimento en los frutos con película PD-960 los SST fueron disminuyendo a partir del tercer día de almacenados. Existieron diferencias ($P \leq 0.05$) entre los frutos con película PD-960 y los demás tratamientos al noveno día ya que tiene menor

cantidad de °Brix, con esta película se observó más rápido la disminución de °Brix. En el doceavo día se percibió la disminución en los tres tratamientos. Comparando los frutos testigo y los de película de baja densidad se distinguió que los frutos con esta última se incrementaron más rápido los SST, ya que al sexto día existieron diferencias entre los frutos testigo y los que tuvieron película, sin embargo, la disminución en esta variable a los doce días de almacenamiento se da tanto en los que tenían película como en los que no la tuvieron.

Cuadro 1. Sólidos solubles totales (°Brix) de frutos de pitahaya almacenados a 20 °C.

Tratamiento	Días de almacenamiento				
	3	6	9	12	15
Testigo	10.85 a ^z	8.05 a	12.15 b	8.65 a	nd
PBD	10.5 a	11.45 b	11.55 b	8.65 a	9.95 a
PD-960	11.7 a	9.25 ab	7.6 a	7.13 a	9.75 a
DMSH	2.45	2.64	3.29	3.51	1.21
CV (%)	11.27	13.95	15.98	21.81	7.11

^zValores con letras distintas dentro de columnas indican diferencias de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

nd: no determinado; PBD: película de baja densidad; PD-960: película Cryovac; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

La acidez titulable, reportada en porcentaje de ácido cítrico, disminuyó considerablemente al tercer día de almacenamiento considerando el valor que se tuvo al momento de la cosecha (Figura 1). En el tratamiento testigo los frutos presentaron mayor decremento de acidez fueron. Nerd *et al.* (1999) reportaron que la máxima acidez para *H. undatus* se da cuando

empezó a aparecer el color rojo y posteriormente decrece considerablemente cuando la fruta alcanza la coloración total, después continúa disminuyendo pero de forma más lenta. La acidez de los frutos a la cosecha fue de 0.65 % y para el tercer día después de cosechados decreció hasta en un 65 % para el caso del testigo y alrededor de 50 % en los frutos con cubierta, para el final del experimento el decremento en la acidez fue del 87 % en el testigo y de alrededor del 60 % en los frutos con película. En el experimento las películas plásticas ayudaron a conservar mayor cantidad de ácido cítrico, en comparación con los frutos que no tuvieron película, sin embargo el decremento persistió lo cual coincidió con lo que Fernández-Trujillo y Artés (1997) encontraron al usar atmósferas modificada en duraznos donde el decremento era prácticamente lineal. Existieron diferencias significativas entre el testigo y los otros dos tratamientos en todos los días de evaluación.

Los resultados obtenidos coinciden con los encontrados por Nerd *et al.* (1999), ya que mencionaron que una vez que el fruto es totalmente rojo la acidez es baja y los SST son altos.

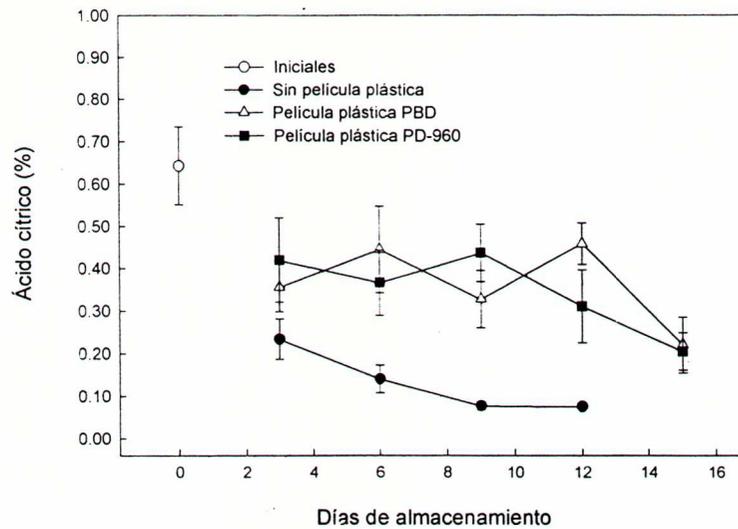


Figura 1. Acidez titulable en frutos de pitahaya almacenados a 20 °C durante 15 días cubiertos con dos tipos de películas plásticas.

Cada punto representa la media de cuatro observaciones \pm error estándar. PBD: película de baja densidad; PD-960: película Cryovac.

La relación de sólidos solubles totales y acidez titulable (Cuadro 2) fue mayor ($P \leq 0.05$) en los frutos sin película al noveno y doceavo día y fue incrementando a lo largo del experimento. Entre los frutos que tuvieron cubierta plástica no hubo diferencias y esta relación se mantiene relativamente constante con los dos tipos de cubiertas a lo largo del tiempo de almacenamiento, sin embargo a los 15 días de almacenados se empezó a observar incremento en esta relación.

Cuadro 2. Relación sólidos solubles totales (°Brix) y acidez titulable de frutos de pitahaya almacenados a 20 °C y con dos diferentes tipos de películas plásticas.

Tratamiento	Días				
	3	6	9	12	15
Testigo	55.46 a ^z	69.31 a	167.10 b	116.04 b	nd
PBD	32.11 a	29.70 a	42.91 a	20.20 a	58.78 a
PD-960	32.32 a	28.23 a	18.60 a	26.64 a	56.61a
DMSH	41.02	47.49	69.85	27.95	55.53
CV (%)	51.98	56.71	46.42	26.07	55.62

^zValores con letras distintas dentro de columnas indican diferencias de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

nd: no determinado; PBD: película de baja densidad; PD-960: película Cryovac; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

Según Van *et al.* (2002) los consumidores generalmente prefieren pitahayas que no sean muy dulces. Por otra parte, el día de cosecha apropiado debe ser con base en la relación SST/AT, y en su experimento encontraron que el valor ideal de esta relación fue de 40, al igual que Nerd *et al.* (1999).

Las películas plásticas ayudaron considerablemente a la disminución de pérdida de peso, ya que los frutos cubiertos sufrieron una menor deshidratación. El porcentaje de pérdida de peso entre los frutos sin película (testigo) y los frutos con película fue diferente, sin embargo, entre las dos películas no hubo diferencias. Mientras que en los frutos sin película la pérdida de peso alcanzó el 10 %, en los frutos con película no alcanzó ni el 1 % de pérdida de peso (Figura 2). La ventaja del uso de películas es la disminución de la deshidratación y por ende la pérdida de peso, lo cual confiere un beneficio para la calidad

visual de la fruta, puesto que tanto las brácteas como la consistencia carnososa de la cáscara son de suma importancia para la aceptación de la fruta en el mercado y al extender su buena apariencia la fruta se puede seguir comercializando.

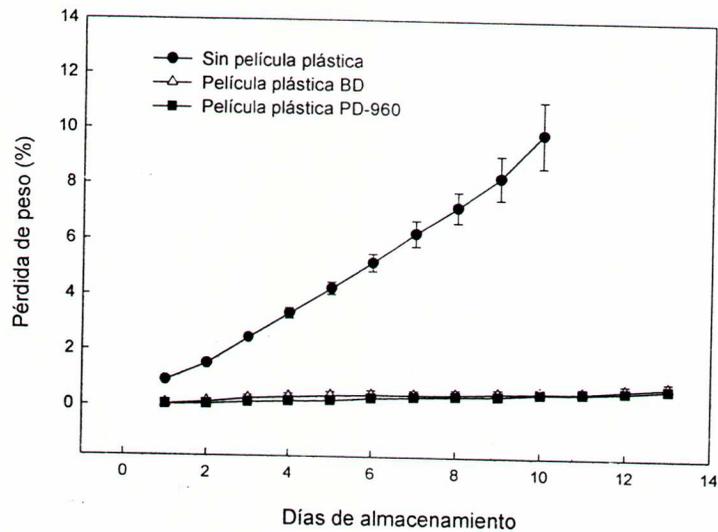


Figura 2. Pérdida de peso en frutos de pitahaya almacenados a 20 °C durante 15 días cubiertos con dos tipos de películas plásticas. Cada punto representa la media de cuatro observaciones \pm error estándar. PBD: película de baja densidad; PD-960: película Cryovac.

Las películas plásticas se han utilizado para prolongar la firmeza de algunos frutos durante la poscosecha, como cereza (Skog *et al.*, 2003), fresa (Çelikel *et al.*, 2003), sin embargo en pitahaya no sucedió así ya que no hubo diferencias entre el testigo y los tratamientos. La firmeza de los frutos con película fue disminuyendo levemente durante el tiempo de almacenamiento (Figura 3). La película PD-960 es la película con la que se pierde firmeza mientras que en los frutos sin película la firmeza se mantuvo constante. Se ha encontrado que temperaturas altas de almacenamiento provocan la disminución en la firmeza de los frutos (Nerd *et al.*, 1999; Alia *et al.*, 2005), tal vez en los frutos dentro de las cubiertas la

temperatura era ligeramente mayor a la encontrada en el ambiente y sea por eso que los frutos tenían menor firmeza, aunque no se encontraron diferencias entre tratamientos.

Blazková *et al.* (2002) encontraron una relación negativa entre SST y firmeza, es decir, a mayor concentración de SST menor firmeza, sin embargo, esta relación solo se encontró en los frutos sin película y en los frutos con película PBD, con la película PD-960 se observó una constante tanto de SST como de firmeza, aunque en la última variable no hay diferencias entre tratamientos.

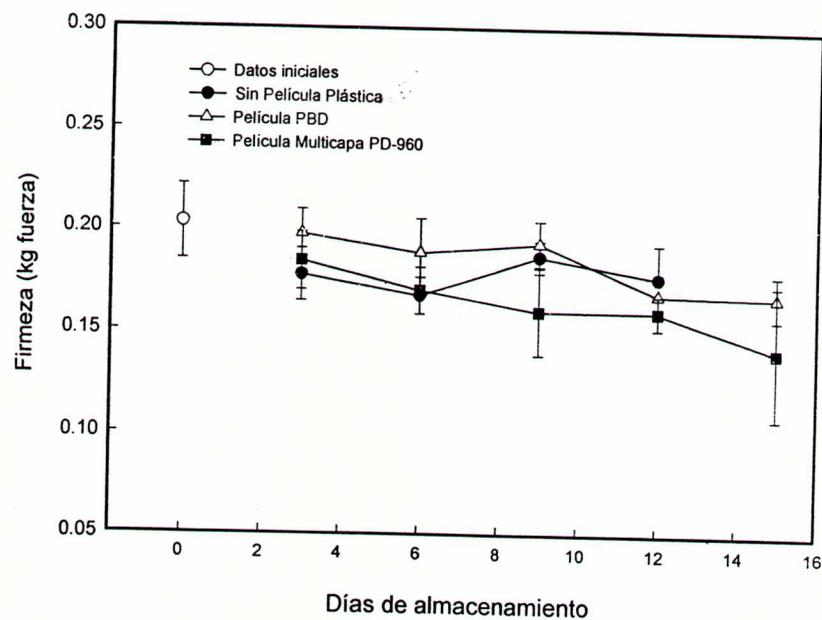


Figura 3. Firmeza en frutos de pitahaya almacenados a 20 °C durante 15 días cubiertos con dos tipos de películas plásticas. Cada punto representa la media de cuatro observaciones \pm error estándar. PBD: película de baja densidad; PD-960: película Cryovac.

En los frutos sin película la apariencia sufrió un decremento mientras que con película plástica los frutos conservaron mejor apariencia hasta el día nueve esto puede ser derivado de la poca pérdida de agua que sufre la cáscara y las brácteas por la protección de la cubierta plástica, ya que la fruta deshidratada tiene las brácteas marchitas y se pierde la apariencia carnosa de la cáscara.

La película PD-961 fue utilizada por Skog *et al.* (2003) en cerezas y mejoró significativamente su apariencia durante el almacenamiento. Por otra parte, también se ha observado que el uso de películas plásticas conservaron mejor la apariencia en fresas (Çelikel *et al.*, 2003a) y en cerezas (Çelikel *et al.*, 2003b).

Cuadro 3. Apariencia de frutos de pitahaya almacenados a 20 °C con dos diferentes tipos de película plástica.

Película plástica	Días				
	3	6	9	12	15
Testigo	0	2.43 b ^z	3.03 b	2.18 a	nd
BD	0	1.23 a	0.60 a	1.90 a	2.93 a
PD-960	0	0.58 a	0.20 a	0.20 a	2.45 a
DMSH		1.10	1.07	3.07	2.55
CV (%)		39.48	42.70	109.29	54.93

^zValores con letras distintas dentro de columnas indican diferencias de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. En una escala de 0 a 5 considerando el cero como excelente apariencia y 5 como muy mala apariencia.

nd: no determinado; PBD: película de baja densidad; PD-960: película Cryovac; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

En el contenido de azúcares totales no hubo diferencias entre tratamientos (Figura 4). Se observó un incremento de alrededor del 65 % en la concentración hasta el noveno día de almacenamiento para posteriormente disminuir para el caso de frutos sin película plástica y película PBD.

Según Wang y Sheng (2005) existe una relación negativa entre el contenido de azúcares y la firmeza lo cual se constata en el presente experimento ya que a mayor firmeza menor contenido de azúcares.

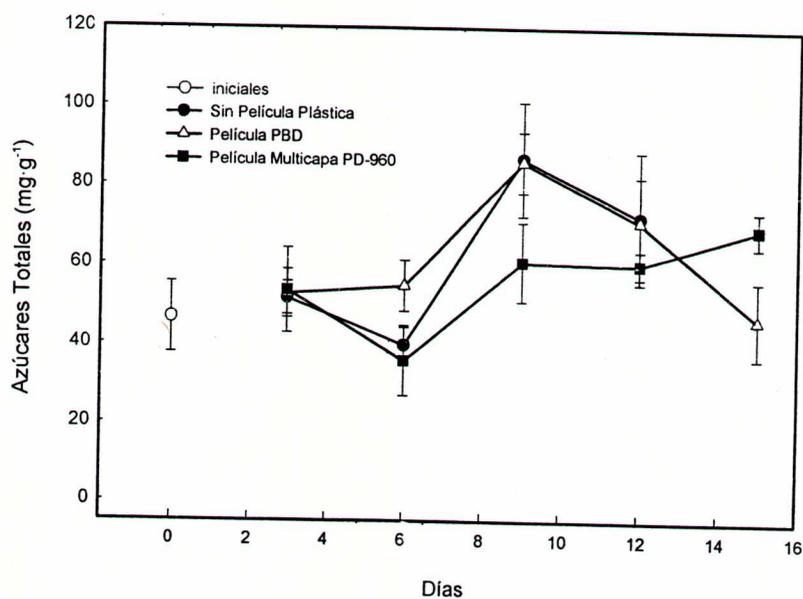


Figura 4. Azúcares totales con base en peso fresco en frutos de pitahaya almacenados a 20 °C durante 15 días cubiertos con dos tipos de películas plásticas.

Cada punto representa la media de cuatro observaciones \pm error estándar. PBD: película de baja densidad; PD-960: película Cryovac.

Según Barbeau (1990) en unos estudios realizados en Nicaragua la concentración de vitamina C en pitahaya fue de $8 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de peso fresco y Castillo *et al.* (1996) mencionaron una concentración de $7.34 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de peso fresco, en el presente estudio se encontraron concentraciones similares. El ácido ascórbico o vitamina C disminuyó durante el tiempo de almacenamiento (Figura 5), para los días 3 y 6 los tres tratamientos tuvieron el mismo comportamiento pero para el noveno día en los frutos sin película plástica y película PD-960 se da un incremento en la concentración existiendo diferencias entre estos y el tratamiento con película PBD, posteriormente disminuyeron. Para el día 12 los frutos testigo tuvieron una concentración de $9.72 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de peso fresco y $7.28 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de peso fresco los frutos con película PD-960. Con la película PBD se distinguió primero la disminución en la concentración de vitamina C.

Yamashita y Benassi (2000) utilizaron películas Cryovac para reducir la pérdida de ácido ascórbico en guayaba y encontraron que la cubierta PD-900 que es menos permeable al O_2 fue la que proporcionó mayor retención de ácido, mientras que la cubierta PD-961 presentó una tasa de degradación mayor de ácido ascórbico, en el caso de pitahaya en el presente estudio los frutos testigo fueron los que conservaron mayor cantidad de vitamina C.

Lee y Kader (2000) mencionan que el ácido ascórbico es el componente principal que pierden la frutas y vegetales durante la postcosecha, ya que la oxidación puede ocurrir en la presencia de catálisis, enzimas oxidativas o como resultado del calentamiento dentro de los procesos. Comentan que altas concentraciones de CO_2 pueden estimular la oxidación del ácido ascórbico, probablemente por ascorbato peroxidasa, en este caso los frutos sin película plástica son los que tuvieron mayor contenido de vitamina C y tuvieron contacto con menores concentraciones de CO_2 , ya que solo era el del ambiente mientras que con los otros

tenían contacto con mayores concentraciones de CO_2 , pues este se acumuló dentro de la cubierta, sin embargo, no hay diferencias entre tratamientos.

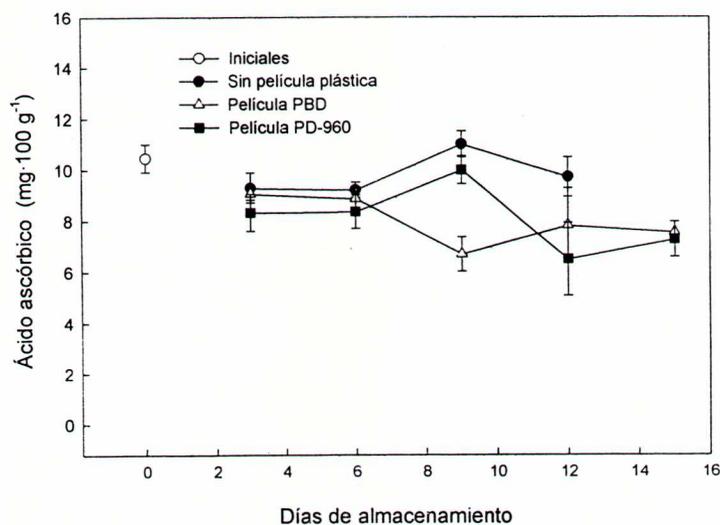


Figura 5. Ácido ascórbico (con base en peso fresco) en frutos de pitahaya almacenados a 20 °C durante 15 días cubiertos con dos tipos de películas plásticas.

Cada punto representa la media de cuatro observaciones \pm error estándar. PBD: película de baja densidad; PD-960: película Cryovac.

En cuanto a la producción de etanol existen diferencias entre los frutos que tuvieron cubierta plástica y los testigos, y conforme avanzó la maduración de los frutos la producción de etanol aumentó. En los frutos con película va de concentración de 8 hasta 50 mg·100 g⁻¹ de peso fresco, mientras que en los frutos con película va desde 50 hasta 277 mg·100 g⁻¹ de peso fresco (Figura 6). A los 15 días de almacenamiento los frutos con película PD-960 mostraron un decremento notorio en la producción de etanol, teniendo la máxima

producción el día 12 con $277 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ peso fresco, por otro lado los frutos con películas PBD tuvieron su máxima producción al noveno día con $233 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ en peso fresco y posteriormente empezó a decrecer paulatinamente. Según Ke y Kader (1990), el incremento de la producción de etanol puede ser provocado por una elevación en la tasa de respiración. Se conceptúa que la disminución de la concentración de O_2 en la respiración aerobia es al menos parcialmente reemplazada por la fermentación anaeróbica. La respiración anaerobia produce productos volátiles como el etanol el cual transfiere sabores y aromas indeseables a los frutos.

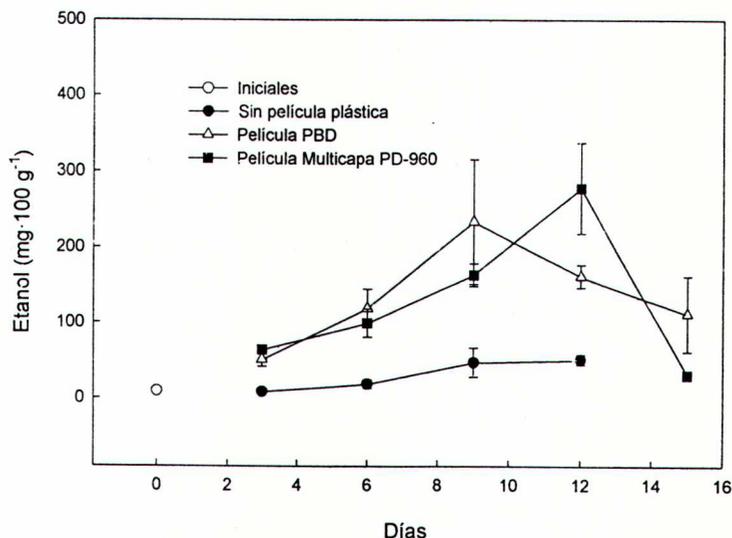


Figura 6. Producción de etanol en frutos de pitahaya almacenados a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 15 días cubiertos con dos tipos de películas plásticas.

Cada punto representa la media de cuatro observaciones \pm error estándar. PBD: película de baja densidad; PD-960: película Cryovac.

En la revisión hecha por Podd y Van Staden (1998) encontraron que el acetaldehído producido por frutos maduros se descompone en etanol el cual se sigue acumulando y la

cantidad de acetaldehído se reduce. En naranja se observó (Davis *et al.*, 1974) que el nivel de etanol se incrementó con el tiempo y la temperatura de almacenamiento.

La disminución en SST y el incremento en etanol según Pesis *et al.* (2002) sugieren que existe respiración anaerobia en el fruto, lo cual pudo suceder en el presente estudio por el alto contenido de CO₂ acumulado en los frutos con las películas plásticas.

En cuanto a la producción de acetaldehído los frutos testigo generaron una menor cantidad de este (Figura 7). A los 12 días de almacenamiento la producción de acetaldehído en los frutos sin película fue aproximadamente cinco veces más que la inicial. Los niveles de acetaldehído en frutos con película plástica aumentó hasta 12 veces la producción inicial. En cuanto a la formación de acetaldehído en frutos con película PBD solo hubo diferencias respecto al testigo al día 6 de almacenamiento. Se observó que en estos frutos se incrementó más rápidamente la producción de acetaldehído a diferencia de los frutos con la película PD-960, ya que el incremento considerable de la producción se da hasta el día 9 de almacenamiento siendo la máxima producción de 4.19 mg·100 g⁻¹ en peso fresco y posteriormente disminuyó.

Pesis *et al.* (2002) encontraron en litchi, almacenado con atmósfera modificada, que altos contenidos de acetaldehído y etanol se reflejan en la producción de sabores desagradables.

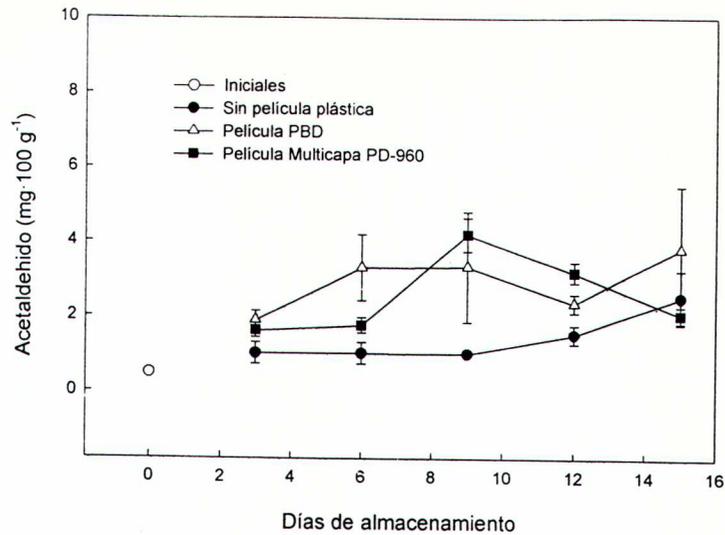


Figura 7. Producción de acetaldehído en frutos de pitahaya almacenados a 20 °C durante 15 días cubiertos con dos tipos de películas plásticas. Cada punto representa la media de cuatro observaciones \pm error estándar. PBD: película de baja densidad; PD-960: película Cryovac.

En el presente experimento no hubo diferencias entre tratamientos en cuanto a sabor (Figura 8) a pesar de que los frutos con película plástica presentaron mayor producción de estos compuestos volátiles. Es probable que estos compuestos volátiles no afectaron al sabor significativamente por que su concentración es baja para surtir efecto en él, ya que Hagenmaier (2002) encontró efecto en el sabor de mandarinas con concentraciones de superiores a $1500 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de etanol y en pitahaya la concentración encontrada fue significativamente menor a esos valores.

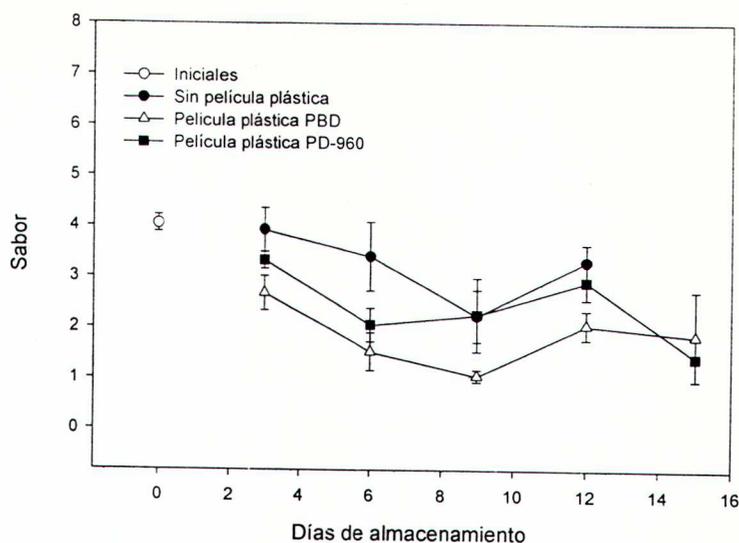


Figura 8. Sabor en frutos de pitahaya almacenados a 20 °C durante 15 días cubiertos con dos tipos de películas plásticas.

Cada punto representa la media de cuatro observaciones \pm error estándar. PBD: película de baja densidad; PD-960: película Cryovac.

La pitahaya en lal que se presentó un patrón no climatérico (Figura 9) como lo habían manifestado con anterioridad Arévalo y Ortiz (1999) y Nerd *et al.* (1999), estos autores evaluaron la respiración de la fruta durante 8 y 6 días coincidiendo el comportamiento del patrón de respiración con el del presente estudio. Se observó una acumulación de CO₂ dentro de la fruta con cubierta y disminución a lo largo del experimento, siendo menor la acumulación con la película PBD sin ser significativas entre películas.

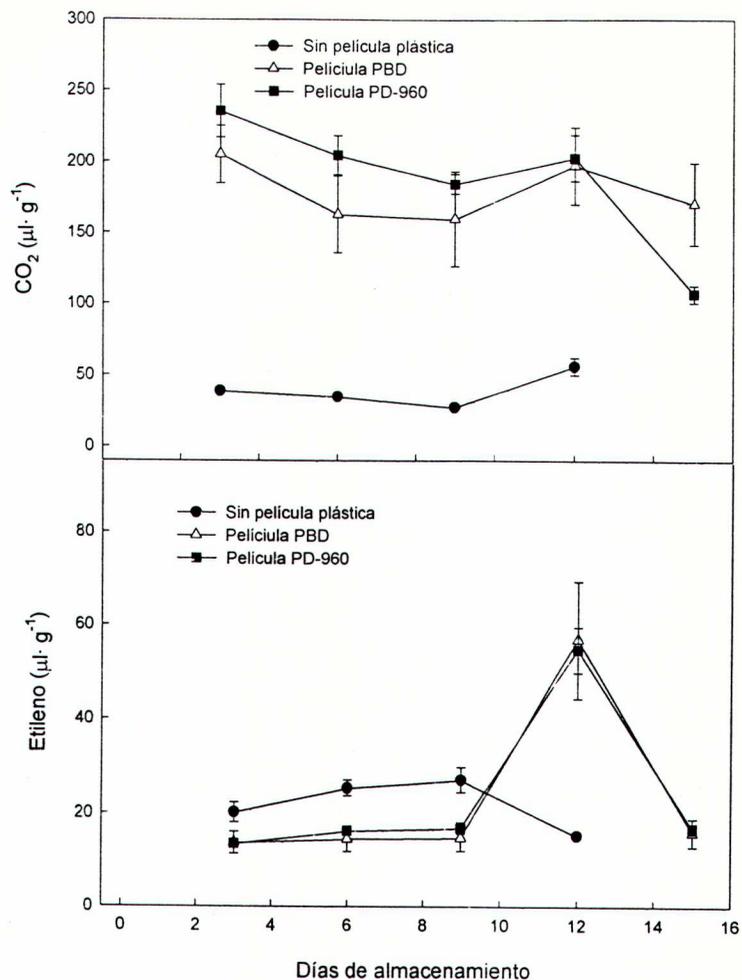


Figura 9. Producción de CO₂ y etileno (con base en peso fresco) de frutas de pitahaya almacenadas a 20 °C durante 15 días cubiertas con dos tipos de películas plásticas.

Cada punto representa la media de cuatro observaciones ± error estándar. PBD: película de baja densidad; PD-960: película Cryovac.

A diferencia del CO₂ no se observó acumulación de etileno esto se puede deber a la capacidad del gas de pasar a través de la película plástica dándose un intercambio gaseoso (Pretel *et al.*, 2000) o por efecto de la concentración de CO₂ ya que este tiene un efecto

inhibitorio en las enzimas involucradas en la síntesis de etileno (Pretel *et al.*, 1999). En el presente estudio a los 12 días de almacenamiento se observó un incremento significativo en la cantidad de etileno presente en los frutos con película plástica y a la siguiente medición decrece, esto pudiera ser alguna alteración fisiológica por el grado de madurez que presentan los frutos, y como consecuencia de este incremento la apariencia pudo haber sido afectada ya que ésta para el día 15 cambio considerablemente con respecto al día 12 relacionado a lo encontrado por Wills *et al.* (1999) cuando estudiaron la apariencia durante almacenamiento de varias frutas y verduras no climatéricas, y encontraron que entre menor sea la concentración de etileno en el anaquel mayor es su vida postcosecha al conservar mejor apariencia.

CONCLUSIONES

Las películas plásticas ayudaron conservar la apariencia del fruto ya que disminuyeron la pérdida de peso de los frutos sin película por deshidratación. No existieron diferencias significativas entre los tipos de películas, pero sí entre usarlas y no. Aunque las películas estimularon mayor producción de etanol y acetaldehído, los cambios no afectaron el sabor. En todos los tratamientos, hasta el noveno día de almacenamiento, se conservaron buenos niveles de SST, la relación SST/Acidez titulable, apariencia y azúcares totales, destacando el uso de la película plástica de baja densidad (PBD) redundando en buena calidad del fruto. A los 12 días de almacenamiento comenzó el decremento del ácido ascórbico, firmeza, sólidos solubles totales, ácido cítrico reflejándose en frutos de mediana calidad. Finalmente, a los 15 días de almacenamiento se demeritó la calidad a niveles no comerciales debido a la calidad visual, además disminuyeron los niveles de ácido ascórbico, sabor, sólidos solubles totales.

LITERATURA CITADA

- ALIA T., I.; COLINAS L., M. T.; MARTÍNEZ D. M. T.; SOTO H., M. R. 2005. Daños por frío en zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn). I. Cambios en volátiles firmeza y azúcares totales. *Rev. Fitotec. Mex.* 28(1): 17-24.
- AOAC. 1990. *Official Methos of Analysis*, 15th ed. Association of Official Analytical Chemis. Arlington. VA., USA.
- ARÉVALO G., M. L.; ORTIZ H., Y. D. 1999. Cambios en el patrón respiratorio y fisiología de la pitahaya (*Hylocereus undantus*) en postcosecha. II Congreso Mexicano y I Congreso Latinoamericano del Caribe de Cactáceas y oros plantas suculentas. Oaxaca, México. pp. 33-34.
- ARÉVALO G., M. L.; ORTIZ H., Y. D. 2004. Comportamiento poscosecha del fruto de la pitahaya (*Hylocereus undatus*). *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 49(3): 85-90.
- BARBAEU, G. 1999. La pitahaya rouge, un nouveau fruit exotique. *Fruits* 45: 141-147.
- BLAZKOVÁ, J.; HLUSICKOV, I.; BLAZER, J. 2002. Fruit weight, firmness and soluble solids content during ripening of cv. Karcsova, sweet cherry. *Hort. Sci.* 29(3): 92-98.
- CASTILLO M., R.; CÁLIX DE D., H.; RODRÍGUEZ A., C. 1996. Guía técnica para el cultivo de la Pitahaya. CONACYT-UQROO-INIFAP-UACH. Quintana Roo, México. 158 p.
- ÇELIKEL, F. G.; KAYNAS, K.; ERENOGLU, B. 2003a. A study on modified atmosphere storage of strawberry. *Acta Hort.* 628: 423-430
- ÇELIKEL, F. G.; ÖZELKÖK, S.; BURAK, M. 2003b. A study on modified amosphere storage of sweet cherry. *Acta Hort.* 628: 431-438.

- DAVIS, L.P.; CHACE, G.W. 1969. Determination of alcohol in citrus juice by gas chromatographic analysis of head space. *HortScience* 4(2): 117-119.
- DAVIS, P. L.; HOFMANN, R. C.; HATTON, T. T. 1974. Temperature and duration of storage on ethanol content of citrus fruits. *HortScience* 9(4):376-377.
- FERNÁNDEZ-TRUJILLO, P.; ARTÉS, F. 1997. Quality improvement of peaches by intermittent warming and modified-atmosphere packaging. *Eur. Food Res. Technol.* 205: 59-63.
- HAGENMAIER, R. D. 2002. The flavor of mandarin hybrids with different coatings. *Postharvest Biol. Technol.* 24(1): 79-87.
- KADER, A. A. 1992. Modified atmosphere during transport and storage, pp. 85-92. *In*: KADER, A. A. (ed.), *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. University of California Davis. Oakland, California, USA.
- KE, D.; KADER, A. 1990. Tolerance of 'Valencia' oranges to controlled atmospheres, as determined by physiological responses and quality attributes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115(5): 779-783.
- LEE, S. K.; KADER, A. A. 2000. Preharvest and postharvest factor influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biol. Technol.* 20: 207-220.
- NERD, A.; GUTMAN, F.; MIZRAHI, Y. 1999. Ripening and postharvest behaviour of fruits of two *Hylocereus* species (Cactaceae). *Postharvest Biol. Technol.* 17: 39-45.
- ORTIZ H., Y. 2000. *Hacia el Conocimiento y Conservación de la Pitahaya (Hylocereus spp.)*. IPN-SIBEJ-CONACYT-FMCN. Oaxaca, México.
- ORTIZ H., Y. 2002. ¿Pitahaya o fruta del dragón? *Conversus* 10: 18-21.

- PESIS, E.; DVIR, O.; FEYENBERG, O.; BEN-ARIE, R.; ACKERMAN, M.; LICHTER, A.
Production of acetaldehyde and ethanol during maturation and modified atmosphere storage of litchi fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 26:157-165.
- PODD, L. A.; VAN STADEN, J. 1998. The role of ethanol and acetaldehyde in flower senescence and fruit ripening- A review. *Plant Growth Regul.* 26: 183-189.
- PRETEL, M. T.; SERRANO, M.; AMORÓS, A.; ROMOJARO, F. 1999. Ripening and ethylene biosynthesis in controlled atmosphere stored apricots. *Eur. Food Res. Technol.* 209: 130-134.
- PRETEL, M. T.; SOUTY, M.; ROMOJARO, F. 2000. Use of passive and active modified atmosphere packaging to prolong the postharvest life of three varieties of apricot (*Prunus armeniaca*, L.). *Eur. Food Res. Technol.* 211: 191-198.
- REMON, S.; FERRER, A.; MARQUINA, P.; BURGOS, J.; ORIA, R. 2000. Use of modified atmospheres to prolong the postharvest life of Bulat cherries at two different degrees of ripeness. *J. Sci. Food Agri.* 80: 1545-1552.
- RODRÍGUEZ, C. A. 2000. Producción y comercialización de pitahaya en México. *Claridades Agropecuarias* 82: 3-22.
- SKOG, L. J., SCHAEFER, B. H.; SMITH, P. G. 2003. On -farm modified atmosphere packaging of sweet cherries. *Acta Hort.* 628: 415-422.
- VAN, T. L.; NGU, N.; DUY, D. N.; THANH, H. H. T. 2002. Dragon fruit quality and storage life: effect of harvesting time, use of plant growth regulators and modified atmosphere packaging. *Acta Hort.* 575: 611-621.
- WANG, J.; SHENG, K. 2005. Variations in firmness and sugar content in 'Huanghua' pear (*Pyrus pyrifolia* Nakia). *J. Hor. Sci. Biotech.* 80(3): 307-312.

- WATTS, B. M.; YLIMAKI, G. L.; JEFFERY, L. E.; ELÍAS, L. G. 1992. Recolección y análisis de datos sensoriales. Métodos Sensoriales Básicos para la Evaluación de Alimentos. Traducido al español por Oficina de Traducciones, Secretaria de Estado, Canadá. Internacional Development Research Center. Ottawa, Canadá. 169 p.
- WILLS, R.B.H.; KU, V.V.V.; SHOHET, D.; KIM, G.H. 1999. Importance of low ethylene levels to delay senescence of non-climacteric fruit and vegetables. Aust. J. Exp. Agric. 39(2): 221-224.
- YAMASHITA, F.; BENASSI, M. T. 2000. Influencia da embalagem de atmosfera modificada e do tratamento com calcio na cinética de degradacao de ácido ascórbico e perda de massa em goiabas (*Psidium guajava* L.). Ciênc. Tecnol. Aliment. 20(1): 27-31.

**III. CAMBIOS FISIOLÓGICOS POSTCOSECHA EN PITAHAYA
Hylocereus undatus HAW. CON REFRIGERACIÓN Y PELÍCULAS
PLÁSTICAS**

III. CAMBIOS FISIOLÓGICOS POSTCOSECHA EN PITAHAYA *Hylocereus undatus* Haw. CON REFRIGERACIÓN Y PELÍCULAS PLÁSTICAS

S. P. Ramírez-Ramírez^{1¶}, M. T. Martínez-Damián¹; M. T. Colinas-León¹; A. F. Barrientos-Priego¹; T. Vásquez-Rojas¹

¹Posgrado en Horticultura, Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. C.P. 56230. MÉXICO. sweetia@correo.chapingo.mx (¶autor responsable).

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo estudiar los principales cambios fisiológicos durante postcosecha en frutos de pitahaya con dos tipos películas plásticas, una película de baja densidad (PBD) y otra película multicapa PD-960 de Cryovac, y cuatro periodos en refrigeración a 5 °C. Después del almacenamiento en frío los frutos fueron expuestos a temperatura ambiente (20 ± 1 °C) hasta por 12 días haciendo evaluaciones al momento de la salida de refrigeración y posteriormente cada tres días. Se evaluaron sólidos solubles totales, acidez titulable, azúcares totales, vitamina C, firmeza, pérdida de peso, apariencia, sabor, etanol y acetaldehído, tasa de respiración y producción de etileno. Encontrando que el uso de películas influyó favorablemente en la conservación del peso ya que la pérdida de peso en los frutos con película no fue mayor al 1 % al final del experimento, por lo que de igual manera la calidad visual se vio favorecida sin embargo hubo mayor producción de etanol pero éste no afecta al sabor. La película (PBD) hizo que los frutos conservaran más azúcares solubles totales y firmeza. Se encontró que el máximo tiempo de almacenamiento en frío es de 16 días a 5 °C para evitar una disminución drástica del contenido de ácido ascórbico y el

decremento de la calidad visual ya que a mayor tiempo de almacenamiento en frío menor es la duración a temperatura ambiente. Los frutos con película PD-960 fueron los que presentaron mayor respiración. Se encontró que los mejores factores para almacenar la pitahaya fueron la película PBD y 16 días de refrigeración a 5 °C.

Palabras clave adicionales: atmósferas modificadas, frigoconservación, sabor, respiración, etanol, acetaldehído.

ABSTRACT

The aim of this study was to know the main physiological changes during postharvest in fruits of pitahaya with two types plastic films, a low density film (PBD) and another multilayered film PD-960 of Cryovac, and four periods of time stored at 5 °C. After the storage in cold the fruits were exposed to temperature environment (20 ± 1 °C) for 12 days, evaluations were done at the time when were took out of the cooler and subsequently every three days. Total soluble solids, titrable acidit, total sugars, vitamin C, firmness, weight loss, appearance, flavor, ethanol and acetaldehye, respiration rate and ethylene production were evaluated. It was found that the use of films influences favorably weight since the loss of it in the fruits with plastic films was not greater than 1% by the end of the experiment, there for it was beneficial for the visual quality nevertheless there was a greater production of ethanol but this did not affected the flavor. The film (PBD) preserved more total soluble sugars and firmness. It was found that the maximum time of storage at low temperature is up to 16 days at 5 °C before a dramatic decrease of the content of ascorbic acid and the visual quality get poor since the greater time of storage at low temperature the duration at room temperature was reduce. The fruits with film PD-960 were the ones that had higher

respiration rate. The better conditions to store the pitahaya were the film PBD and 16 days at 5 °C.

Additional key words: modified atmosphere, dragon fruit, low temperatures, flavor, respiration rate, ethanol, acetaldehyde.

INTRODUCCIÓN

Las pitahayas son frutos del género *Hylocereus*, originarias de América de alto potencial agronómico y económico (Ortiz, 2000). En México fue llamada por la población prehispánica como Cuauhnochtli (nopal de árbol), la cual formó parte importante de su alimentación (Bravo, 1978). Las flores y brotes tiernos eran consumidos como verdura o para fines medicinales, además de que los frutos fueron apreciados tanto por los indígenas como por los españoles (Garibay, 1982; Mendieta y de Amo, 1981).

En América existen varias especies de *Hylocereus*, la pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw.) es la especie más cultivada y conocida en México, produce frutos con cáscara de color rosa mexicano y pulpa blanca. Los precios a los que se cotiza en el mercado regional, nacional o internacional, han propiciado en tiempos recientes la extensión de intensificación del cultivo bajo diferentes sistemas de plantación en México, Nicaragua, Malasia, Vietnam e Israel (Reyes, 1995; Nerd y Mizrahi; 1997; Rodríguez, 2000).

El momento de cosecha influye en la evolución en postcosecha y en la madurez de consumo. En el caso de *H. undatus* se ha determinado que es cuando la parte basal del fruto muestra ligeros cambios de coloración verde a rosa mexicano (Ortiz, 1995). Sin embargo, no se han establecido formamente estudios de valoración postcosecha encaminados al tipo de

mercado que se requiere incursionar y las características en las que el fruto debe ser cosechado para mantener una calidad óptima de consumo.

Para lograr una buena calidad para el consumo, los frutos de esta especie son cosechados cuando el color de la cáscara se torna rosa, recomendándose una temperatura de 10 °C durante almacenamiento para atenuar la pérdida de peso, de la acidez y de los azúcares (Nerd y Mizrahi, 1998, 1999). En otros estudios se ha observado que 4 °C incrementa la vida de anaquel (Centurión *et al.*, 1999), sin embargo, las temperaturas óptimas de almacenamiento y la sensibilidad fisiológica que el fruto pueda manifestar no han sido investigadas a fondo. Aspecto importante a considerar si pensamos en que es un fruto muy atractivo para el mercado europeo y japonés.

Es importante considerar que durante el almacenamiento de frutos existen algunos cambios deseables y otros indeseables y esto puede estar influenciado por la variedad, el tipo de manejo (fertilización), la época de cosecha, tiempo y temperatura de almacenamiento entre otros factores en composición, estructural y sensorial lo cual es reflejado en la calidad final (López, 1994). Los cambios indeseables pueden ser aminorados mediante el uso de la frigoconservación y atmósferas modificadas (AM) cuyo principio fundamental es aprovechar el efecto retardador de la respiración proporcionado por las bajas temperaturas y la atmósfera generada, aunado a esto el uso de elevadas humedades relativas que ayudan a reducir el marchitamiento de los productos (Kader, 1992). Por tales motivos el objetivo del estudio fue determinar los cambios bioquímicos durante la maduración con AM y frigoconservación de frutos de pitahaya.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del experimento se usaron frutos de pitahaya cáscara roja y pulpa blanca, provenientes de Tehuacán, Puebla, México. Los cuales inmediatamente después de ser cosechados (septiembre 2003) fueron trasladados al laboratorio, donde se distribuyeron en sus respectivos tratamientos.

Las películas plásticas utilizadas fueron:

- Polietileno de baja densidad (PBD) de calibre 150 (1.5 milésimas de pulgada de espesor) con una permeabilidad al O₂ del $1.62 \times 10^6 \text{ cc}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{atm}^{-1}$ y al CO₂ $2.38 \times 10^5 \text{ cc}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{atm}^{-1}$.
- Película multicapa Cryovac PD-960, de calibre 125 (equivalente a 1.25 milésimos de pulgada con una permeabilidad al oxígeno de $6,000\text{-}8,000 \text{ cc}\cdot\text{m}^{-2}\cdot 24 \text{ h}^{-1}$ (73 °F a 1 atm) y de $19,000\text{-}22,000 \text{ cc}\cdot\text{m}^{-2} 24 \text{ h}^{-1}$ (73 °F a 1 atm) al CO₂.

Los frutos fueron lavados, desinfectados (Benlate $10 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$), secados y preparados con su respectiva película plástica. Se seleccionaron frutos lo más homogéneo posible en cuanto a tamaño y color, ya que el color es un buen indicador del grado de madurez, se revisaron que no estuvieran dañados mecánicamente o por insectos.

Se generaron tres tratamientos que fueron: frutos testigo, frutos con polietileno de baja densidad (PBD) y frutos con polietileno PD-960. El diseño experimental fue factorial completamente al azar, siendo los factores las películas con tres niveles y los días de almacenamiento cuatro niveles (3 x 4) con cuatro repeticiones, siendo la unidad experimental un fruto. Los frutos se conservaron durante 8, 16, 24, y 32 días en refrigeración a 5 °C y posteriormente fueron expuestos a temperatura ambiente ($20 \pm 1 \text{ °C}$),

y las evaluaciones se realizaron cada tres días. Se utilizaron cuatro frutos por tratamiento por cada día de evaluación.

Evaluación de variables

Sólidos solubles totales (SST)

Los sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix) se determinaron en pulpa de la parte ecuatorial del fruto con un refractómetro manual marca Binko.

Acidez titulable

La acidez titulable representa el contenido mayor de ácidos libres del jugo, contribuyendo en mayor medida el ácido cítrico con alrededor del 85 al 90 %. Esta variable se determinó de acuerdo a la metodología propuesta por la AOAC (1990), para lo cual se tomaron 10 g de pulpa que fueron neutralizados con NaOH 0.01 N utilizando fenoftaleína como indicador. Finalmente el resultado se registró como porcentaje de ácido cítrico.

Relación SST/Acidez

La relación SST/acidez es un indicador confiable del grado de madurez y es un buen indicador como índice de calidad. Su determinación se realizó en función del cociente $^{\circ}$ Bx y acidez (%).

Azúcares totales

Fueron determinados utilizando 1 g de peso fresco de pulpa. Se hizo una extracción con alcohol etílico al 70 % hasta evaporación. Posteriormente se determinó el contenido de azúcares totales por el método colorimétrico con antrona descrito por Witham *et al.* (1971).

La estimación de los azúcares totales se hizo a partir de una curva patrón de solución de glucosa al 1 % ($0.1 \text{ mg}\cdot\text{ml}^{-1}$) con agua destilada. Se tomaron diferentes volúmenes (0.2, 0.4, 0.4, 0.8 y 1 ml) se aforaron a 1 ml con agua destilada y se siguió el procedimiento del método con antrona.

Vitamina C

La determinación de vitamina C se realizó de acuerdo al método de Tillman (AOAC, 1990) conocido como DFI-2, 6 diclorofenol-indofenol, el contenido de ácido ascórbico se estimó mediante la maceración de una muestra de pulpa con un agente estabilizante como ácido oxálico (para mantener propia la acidez para la reacción y evitar auto-oxidación del ácido ascórbico a alto pH) y reducción del 2,6 diclorofenol-indofenol (solución de Tillman). Se estimó a partir de 5 g de pulpa homogenizados con 50 ml de ácido oxálico, tomando una alícuota de 10 ml.

Firmeza

Se determinó con ayuda de un penetrómetro con un puntal en forma de cono de 0.5 cm de diámetro y altura registrándose las lecturas en kg fuerza. Se quitó la cáscara en la zona central de la fruta (eje ecuatorial) y sobre la pulpa se hizo la medición con tres repeticiones.

Etanol y acetaldehído

La cuantificación de etanol y acetaldehído se determinó por cromatografía de gases, con la técnica de espacio de cabeza propuesta por Davis y Chase (1969). Se tomaron muestras de pulpa por tratamiento y día de análisis, colocando en un vial sellado y se almacenaron a -20

°C hasta su cuantificación. Para su cuantificación se incubaron a baño maría a 50 °C por 10 min. Una vez salidos de la incubadora se agitaron 5 segundos en vortex para tubos. Se tomó 1 ml del espacio libre del vial y se inyectó en un cromatógrafo de gases Varian 3400. Para determinar los tiempos de retención del etanol y acetaldehído se inyectaron muestras que contenían a estos compuestos puros tratados con el mismo procedimiento descrito para la muestra. Se preparó una solución madre con una concentración de 174 mg·litro⁻¹ de etanol y 31.4 mg·litro⁻¹ de acetaldehído y se inyectaron varias cantidades (0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1 ml) para obtener la curva patrón de cada compuesto y poder hacer el cálculo del contenido de cada uno en la pulpa.

Las condiciones de operación del cromatógrafo para la determinación de ambos volátiles fueron: helio como gas de acarreo, 170 °C de temperatura en el inyector, 160 °C en la columna y 170 °C en el detector de ionización de flama FID.

Pérdida de peso

Para estimar el porcentaje la pérdida de peso se registró diariamente el peso de los frutos utilizando una balanza granataria, y se aplicó la siguiente fórmula: pérdida de peso (%)=[(peso inicial – peso final)/peso inicial]·100

Calidad visual

Se calificó por medio de una escala de intervalo que se analizó empleando pruebas estadísticas paramétricas (Watts *et al.*, 1992). Se trazó una línea de 5 cm donde cero fue excelente y cinco muy mala apariencia, se observó la muestra y se ubicó un punto dentro de la recta según se consideraba la apariencia. Posteriormente se midió del cero al punto y se tomó la distancia (cm) de cada muestra para hacer el análisis de varianza.

Sabor

Se calificó por medio de una escala de intervalo que se analiza empleando pruebas estadísticas paramétricas (Watts *et al.*, 1992). Se trazó una línea de 5 cm donde cero implicaba mal sabor y cinco muy buen sabor, se probó la muestra y se ubicó un punto dentro de la recta según se consideraba el sabor. Posteriormente se midió del cero al punto y se tomó la distancia (cm) de cada muestra para hacer el análisis de varianza.

Tasa de respiración y producción de etileno

La respiración y el etileno se cuantificó por el método de respiración estática en el cual el fruto se colocó en un recipiente hermético de volumen conocido por una hora definido para el caso de los frutos sin película plástica, en los frutos con cubierta se colocó un adherencia de silicón, se tomaron 5 ml de aire y se conservaron en vacutainer a -20 °C hasta su lectura. Las muestras se inyectaron en un cromatógrafo de gases marca Varian modelo 3400 CX con una columna capilar emacada de 27.5 cm de largo 0.32 mm de diámetro interno y 0.45 mm de diámetro externo y 10 mm de grosor de película tipo abierto con cvapa porosa de silica fundida con base estacionaria de Porapak tipo Q, la temperatura de la columna fue de 80 °C, del detector de 170 °C y del inceyector 150 °C, como estándar se utilizó etileno (INFRA) 103 mg·litro⁻¹ y CO₂ (INFRA) 399 mg·litro⁻¹. El gas de arrastre fue helio con un flujo de 32.3 ml·min⁻¹ y la cantidad de muestra inyectada fue de 1.0 ml el cual fue tomado con una jeringa hipodérmica.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza con un diseño completamente al azar en un arreglo factorial y una comparación de medias de acuerdo al método de Tukey ($P \leq 0.05$) con el programa SAS (Statistical Analysis System Institute Inc.), la graficación de los datos fue con el programa SigmaPlot.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sólidos solubles totales

Los sólidos solubles totales (SST) tuvieron una disminución significativa al mantenerse por más días en refrigeración (Cuadro 1). Al tener los frutos a temperatura ambiente después de la refrigeración los frutos que mantuvieron mayor cantidad de SST fueron los frutos que tuvieron menor días de almacenamiento en frío, hasta el sexto día para las fechas posteriores no existió diferencias significativas. Nerd *et al.* (1999) almacenaron *Hylocereus undatus* a 6 °C durante tres semanas y expusieron los frutos a temperatura ambiente durante una semana y encontraron que los SST se mantuvieron constantes durante el almacenamiento, Ke *et al.* (1991) en duraznos con AM no observaron cambios en la concentración de SST ya que esta no se vio influenciada por la temperatura de almacenamiento (5 °C), en el presente estudio con el almacenamiento de 8 días en refrigeración y la posterior exposición al ambiente no hay disminución de SST, en comparación con los almacenados en frío durante 16 y 24 días que al ser expuestos a temperatura ambiente sufre una disminución de alrededor del 17 %. Se presentaron diferencias significativas entre el uso y tipo de película (Cuadro 1), existió mayor cantidad de SST hasta el día 9 con la película PBD. Los frutos con la película PBD y sin película al final de la exposición a temperatura ambiente mostraron una disminución de

aproximadamente de 17 % de SST respecto al día 0, según Pesis *et al.* (2002) la reducción de los SST se puede considerar como un criterio de baja calidad del fruto. Con la película PD-960 al día 12 hubo un incremento de SST siendo significativo ($P \leq 0.05$), esto puede deberse al efecto que tienen las AM sobre los frutos ya que reducen el proceso de senescencia como mencionaron Alique *et al.* (2003).

Cuadro 1. Sólidos solubles totales (°Brix) de frutos de pitahaya almacenados a 5 °C en cuatro diferentes fechas de evaluación con dos tipos de película plástica y posteriormente expuestos a temperatura ambiente hasta por 12 días.

Días en refrigeración (5 °C)	Días a 20 ± 1 °C				
	0	3	6	9	12
8	11.50 ab ^z	11.13 ab	11.50 b	10.23 a	11.10 a
16	12.43 b	11.45 b	10.78 ab	10.60 a	10.25 a
24	12.08 b	12.50 b	9.32 a	10.03 a	
32	10.17 a	10.03 a			
DMSH	1.55	1.40	1.59	1.53	0.89
CV (%)	12.88	11.89	14.86	14.66	9.67

Película plástica	Días a 20 ± 1 °C				
	0	3	6	9	12
Testigo	11.30 ab ^z	10.95 a	10.20 a	9.90 a	9.90 a
PBD	12.3 9b	11.91 a	11.82 b	11.65 b	9.98 a
PD-960	10.95 a	10.98 a	9.58 a	9.32 a	12.15 b
DMSH	1.29	1.16	1.59	1.53	1.32
CV (%)	12.88	11.89	14.86	14.66	9.67

^zValores con letras distintas dentro de columnas indican diferencias de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. PBD: polietileno de baja densidad; PD-960: película Cryovac; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

Según Silva y Andrade (1997) la retención de SST puede depender también del estado de madurez del fruto, de acuerdo a lo que ellos observaron en *Myrciaria dubia* Mc Vaugh, siendo los frutos con madurez intermedia los que retuvieron mayor cantidad de SST. Estos

autores proponen que la utilización de AM es más efectiva cuando se trata de frutos completamente maduros.

Acidez titulable

La acidez titulable disminuyó conforme se incrementó el número de días en almacenamiento en frío, se tuvo mayor acidez a los 8 días de almacenamiento (Cuadro2). Durante la exposición a temperatura ambiente a partir del día tres no existieron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre días en refrigeración. Estando en refrigeración se conservó mayor acidez. Nerd *et al.* (1999) reportaron mayor acidez en frutos de *Hylocereus* a 6 °C en comparación con los almacenados a mayor temperatura como 14 y 20 °C existiendo una diferencia de acidez de 60 y 82 %, respectivamente, en comparación con los frutos en refrigeración. Van *et al.* (2002) encontraron la misma tendencia en el estudio que llevaron a cabo también con *Hylocereus undatus*, obtuvieron una reducción de acidez a mayor tiempo de almacenamiento tanto en refrigeración (5 °C) como a temperatura ambiente. Alique *et al.* (2003) encontraron que con película con macro-perforaciones la acidez en cerezas disminuyó significativamente durante el tiempo de almacenamiento en comparación con las cerezas empacadas con películas con menor permeabilidad, un efecto similar ocurrió entre los frutos con película en comparación con los que no tenían película. La PDB fue con la que se tuvo la menor disminución de ácido cítrico al final del experimento que fue del 30 % (Cuadro 2). En el presente estudio se encontró que con PD-960 los frutos mantuvieron mayor acidez ($P \leq 0.05$) hasta el noveno día, sin embargo para el día 12 la mayor acidez se tuvo con PBD. Es posible que este incremento en la acidez titulable de la fruta es el resultado de la sobremaduración de la misma ya que el estrés anaerobio induce la acumulación de ácidos orgánicos (Pesis *et al.*, 2002) y como consecuencia se da el deterioro

En el presente estudio se observó que cuando los frutos salieron de refrigeración contaban con el mismo porcentaje de acidez pero la acidez en los frutos con película plástica se fue incrementando durante el periodo de exposición a temperatura ambiente mientras que la acidez de los frutos sin película fue a la baja, por lo que Alique *et al.* (2003) recomendaron

de Tukey a una $P \leq 0.05$. PBD: polietileno de baja densidad; PD-960: película Cryovac; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

^zValores con letras distintas dentro de columnas indican diferencias de acuerdo a la prueba

Película	Días a 20 ± 1 °C				
	0	3	6	9	12
plástica	0.32 a	0.22 a	0.13 a	0.12 a	0.14 a
Testigo	0.38 a	0.42 b	0.39 b	0.25 b	0.26 b
PBD	0.36 a	0.36 b	0.39 b	0.42 c	0.16 a
PD-960	0.09	0.10	0.15	0.086	0.096
DMSH	29.36	34.10	48.42	32.16	40.49
CV (%)					

Días en refrigeración (5 °C)	Días a 20 ± 1 °C				
	0	3	6	9	12
8	0.45 b ^z	0.33 a	0.27 a	0.25 a	0.16 a
16	0.29 a	0.35 a	0.36 a	0.30 a	0.21 a
24	0.34 ab	0.31 a	0.28 a	0.24 a	
32	0.33 a	0.34 a			
DMSH	0.11	0.12	0.15	0.086	0.064
CV (%)					

posteriormente expuestos a temperatura ambiente hasta por 12 días. Cuadro 2. Acidez titulable (% ácido cítrico) en frutos de pitahaya almacenados a 5 °C en cuatro diferentes fechas de evaluación con dos tipos de película plástica y

conlleva a una mejor calidad. mantuvieron mayor acidez debido a que las AM retardaron el proceso de senescencia lo cual en la calidad de la fruta. Según Alique *et al.* (2003) las cerezas con película plástica

usar películas poco permeables cuando se tengan condiciones seguras de bajas temperaturas para prevenir fermentación y películas un poco más permeables cuando la cadena de frío no es completamente segura.

Silva y Andrade (1997) encontraron que en frutos de *Myrciaria dubia* Mc Vaugh con cubiertas de PVC la acidez se redujo en menor proporción en comparación con los frutos que no estaban protegidos con la película, lo cual explican que es debido a un decremento en la glicólisis debido a la acumulación de CO₂.

Relación sólidos solubles totales y acidez titulable

La relación de sólidos solubles totales (°Brix) y acidez titulable (%) fue significativa ($P \leq 0.05$) con 16 días de almacenamiento en frío, al momento de sacarlos de la refrigeración (día 0), hubo mayor relación con 16 y 24 días de almacenamiento en frío mientras que a los 32 días la relación fue 35 % menor con respecto a la existente a los 16 días. Al tener 8 días de almacenamiento y exponiendo los frutos a temperatura ambiente la relación se incrementó 185 % a los 12 días de exposición a temperatura ambiente. De igual forma sucedió con 16 días de almacenamiento en frío pero en este caso el incremento fue de solo del 35 %. En el seto día hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los frutos almacenados a 8 y 24 días, la relación fue mayor con 8 días de refrigeración (Cuadro 3).

La relación de sólidos solubles totales y acidez titulable (SST/AT) se vio afectada por la presencia y tipo de película plástica. Hubo diferencias significativas entre el uso de películas y el tipo, a partir del tercer día de exposición a temperatura ambiente existiendo una relación mayor en la fruta que no tuvo película (testigo). En el noveno día hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre el tipo de película (Cuadro 3). Al final del almacenamiento los frutos con la película PBD fueron los que mantuvieron la menor relación en general hubo un

comportamiento muy uniforme durante la exposición al ambiente. Mientras que los frutos con la película PD-960 al día 12 tuvieron un drástico incremento del 228 % respecto al día 9, esto pudo deberse a algún efecto de la cubierta plástica en los frutos.

Cuadro 3. Relación sólidos solubles totales (°Brix) y acidez titulable (% ácido cítrico) de frutos de pitahaya almacenados a 5 °C en cuatro diferentes fechas de evaluación con dos tipos de película plástica y posteriormente expuestos a temperatura ambiente hasta por 12 días.

Días en refrigeración (5 °C)	Días a 20 ± 1 °C				
	0	3	6	9	12
8	28.31 a ^z	46.89 a	69.88 b	73.90 a	80.10 a
16	48.49 b	39.44 a	46.91 ab	50.84 a	65.55 a
24	40.59 ab	45.58 a	40.97 a	51.87 a	
32	31.67 a	34.17 a			
DMSH	13.76	18.35	23.81	24.70	25.33
CV (%)	35.41	42.37	44.70	41.43	40.56

Película plástica	Días a 20 ± 1 °C				
	0	3	6	9	12
Testigo	40.14 a ^z	58.17 b	90.04 b	99.06 c	87.17 b
PBD	36.15 a	30.86 a	35.22 a	51.38 b	44.59 a
PD-960	35.50 a	35.53 a	32.50 a	26.16 a	86.73 b
DMSH	11.41	15.22	23.81	24.70	37.69
CV (%)	35.41	42.37	44.70	41.43	40.56

^zValores con letras distintas dentro de columnas indican diferencias de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. PBD: polietileno de baja densidad; PD-960: película Cryovac; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

Mota *et al.* (2003) también encontraron un incremento lineal en la relación SST/AT durante el periodo de almacenamiento de maracuyá con una duración de 21 días de almacenamiento a temperatura ambiente, este incremento se atribuye al proceso de maduración del fruto,

siendo así se puede considerar que la película PBD efectivamente retrasa la maduración de los frutos.

Azúcares totales

Los azúcares totales disminuyeron 15 % a los 32 días de almacenamiento en frío. Al avanzar el tiempo de exposición a temperatura ambiente la cantidad de azúcares decreció en comparación con la existente en el día 0. A los 24 días de almacenamiento en frío hubo la mayor concentración de azúcares existiendo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) durante la exposición a temperatura ambiente.

El uso de películas plásticas no influyó en la concentración de azúcares, no hubo diferencias significativas entre tratamientos. Se observó la disminución en la concentración de alrededor del 12 %, en frutos con película PD-960 y en frutos sin película.

La pitahaya es un fruto no climatérico, según Cantwell (1992) citada por Rodríguez-Felix (2002) este tipo de frutos carece de almidón como reserva de carbohidratos por lo que su contenido de azúcares durante la postcosecha no cambia mucho y debe ser óptimo al momento de la cosecha.

El comportamiento de los SST y los azúcares del presente estudio es muy diferente lo que concuerda con lo encontrado por Holcroft y Kader (1999) en fresas, esta condición se puede atribuir a que los SST incluyen azúcar, ácidos orgánicos, pectinas solubles y otros compuestos.

Cuadro 4. Azúcares totales ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) de frutos de pitahaya almacenados a $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en cuatro diferentes fechas de evaluación con dos tipos de película plástica y posteriormente expuestos a temperatura ambiente hasta por 12 días.

Días en refrigeración ($5\text{ }^{\circ}\text{C}$)	Días a $20 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$				
	0	3	6	9	12
8	74.98 ab ^z	51.86 a	67.28 a	44.01 a	68.57 a
16	75.45 ab	53.13 a	59.47 a	56.89 a	71.59 a
24	83.88 b	76.52 b	71.51 a	73.08 b	
32	63.27 a	52.57 a			
DMSH	17.88	16.55	18.03	14.74	17.01
CV (%)	23.04	27.12	26.93	25.09	28.30

Película plástica	Días a $20 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$				
	0	3	6	9	12
Testigo	76.3a	52.95 a	62.83 a	54.99 a	62.19 a
BD	70.37 a	59.47 a	63.29 a	63.72 a	81.20 a
PD-960	76.45 a	63.14 a	72.13 a	55.27 a	66.85 a
DMSH	14.83	13.73	18.03	14.74	25.30
CV (%)	23.04	27.12	26.93	25.09	28.30

^zValores con letras distintas dentro de columnas indican diferencias de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. PBD: polietileno de baja densidad; PD-960: película Cryovac; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

Vitamina C

La vitamina C o ácido ascórbico es uno de los compuestos que más rápido se degrada. Según Barbeau (1990) la pitahaya tiene en promedio una concentración de ácido ascórbico al momento de la cosecha de $8\text{ mg}\cdot 100\text{ g}^{-1}$, el dato inicial del presente estudio fue de $10.46\text{ mg}\cdot 100\text{ g}^{-1}$. En el presente estudio se tuvo una disminución significativa a los 24 y 32 días de almacenamiento (Cuadro 5). Posteriormente durante la exposición a temperatura ambiente se volvió a repetir el mismo patrón, los frutos con mayor concentración ($P \leq 0.05$)

fueron los que duraron menos tiempo en el almacenamiento en frío. Durante los 8 y 16 días de almacenamiento los frutos se mantuvieron con el 60 % del valor inicial de ácido ascórbico y para los días 24 y 32 la concentración disminuyó 60 %, por lo general, los frutos y vegetales recién cosechados contienen más vitamina c que aquellos que ya están almacenados (Lee y Kader, 2000). Durante la exposición a temperatura ambiente la degradación fue solo del 11 % para los frutos con 8 días de almacenamiento en frío mientras que para los frutos con 16 días la pérdida fue del 33 %. Las temperaturas adecuadas para evitar en la medida de lo posible la pérdida de vitamina C dependerá del tipo de fruta, estado de madurez y tiempo de almacenamiento (Lee y Kader, 2000). En este caso se puede considerar que el máximo tiempo de almacenamiento sería de 16 días a 5 °C antes de que haya una disminución drástica del contenido de ácido ascórbico.

Respecto al efecto de las películas sobre la protección de degradación de este compuesto solo hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los frutos testigo y los frutos con película (Cuadro 5). En el día 0 y 12 de exposición a temperatura ambiente hubo diferencias ($P \leq 0.05$), la tendencia de la concentración fue inversa entre los frutos testigo y los frutos con película ya que al día 0 los frutos con mayor concentración de ácido ascórbico fueron los que tenían cubierta y al día 12 fueron los de menor contenido, mientras que los frutos sin película tenía una concentración mayor ($P \leq 0.05$). Mota *et al.* (2003) de acuerdo a un estudio que hicieron con maracuyá y AM sugieren que el incremento en ácido ascórbico durante el almacenamiento se debe probablemente a que la fruta almacenada a temperatura ambiente tuvo un proceso de senescencia. Yamashita y Benassi (2000) encontraron que frutos de guayaba con película PD-960 tuvieron una tasa de degradación significativamente mayor, encontraron que la película PD-900, menos permeable al O₂ fue la que proporcionó mayor retención de vitamina C. Generalmente las AM reducen los cambios fisiológicos y químicos

de las frutas y verduras durante el almacenamiento, sin embargo, hay que saberlas manejar de acuerdo al producto ya que altas concentraciones de CO₂ pueden estimular la oxidación de ácido ascórbico probablemente por la ascorbato peroxidasa (Lee y Kader, 2000), según Jaconimo *et al.* (2005) también puede suceder que elevadas concentraciones de CO₂ y bajas de O₂ inhiban la síntesis de ácido ascórbico. Por lo que es probable que por tales motivos se hayan obtenido estos resultados en el presente estudio ya u se observó una diferencia significativa del 37 % en la concentración de ácido ascórbico existente entre los frutos con película y los testigo.

Cuadro 5. Ácido ascórbico (mg·100 g⁻¹) de frutos de pitahaya almacenados a 5 °C en cuatro diferentes fechas de evaluación con dos tipos de película plástica y posteriormente expuestos a temperatura ambiente hasta por 12 días.

Días en refrigeración (5 °C)	Días a 20 ± 1 °C				
	0	3	6	9	12
8	6.16 b ^z	6.04 b	7.75 b	6.89 b	5.46 b
16	6.34 b	5.96 b	4.66 a	4.87 a	4.21 a
24	4.40 a	4.44 a	3.59 a	4.27 a	
32	4.45 a	3.65 a			
DMSH	0.94	1.06	1.29	1.30	0.86
CV (%)	16.97	20.29	23.85	23.97	20.77

Película plástica	Días a 20 ± 1 °C				
	0	3	6	9	12
Testigo	4.91a ^z	4.64a	5.31a	5.34a	6.35b
PBD	5.27ab	5.47a	4.84a	4.80a	4.12a
PD-960	5.84b	4.97a	5.85a	5.89a	4.03a
DMSH	0.78	0.88	1.29	1.30	1.28
CV (%)	16.97	20.29	23.85	23.97	20.77

^zValores con letras distintas dentro de columnas indican diferencias de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. PBD: polietileno de baja densidad; PD-960: película Cryovac; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

Firmeza

Se notó un incremento en la firmeza de los frutos sin película plástica, esto puede deberse a que en la pitahaya el agua se mueve de la cáscara hacia la pulpa (Luders, 1999). Los frutos tuvieron mayor firmeza a menor tiempo de almacenamiento en frío siendo significativa la diferencia ($P \leq 0.05$). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Nerd *et al.* (1999) donde los frutos de pitahaya almacenados a 6 °C durante una semana no mostraron diferencias respecto a los frutos iniciales mientras que los frutos almacenados por dos y tres semanas al ser transferidos a temperatura ambiente se volvieron suaves. Mollendorff *et al.* (1992) encontraron que el ablandamiento en nectarinas era directamente proporcional al incremento en tiempo del almacenamiento en frío. Fernández-Trujillo y Artés (1997) encontraron que la firmeza de la fruta de durazno decreció linealmente durante el almacenamiento en frío. Durante la exposición a temperatura ambiente los frutos que mantuvieron mayor firmeza fueron los que duraron solo una semana en refrigeración. En cuanto al tipo de película plástica utilizada o el uso de la misma los frutos sin película fueron los que mostraron mayor firmeza. Van *et al.* (2002) estudiaron frutos de pitahaya, cosechados en diferentes etapas de maduración (tomando como referencia la época de floración) y manejados con AM, encontraron que los frutos cosechados en una maduración temprana mantuvieron mayor firmeza durante el almacenamiento.

Fernández-Trujillo y Artés (1997) encontraron que las AM en durazno mantuvieron la firmeza inicial mejor que aquellas almacenadas sin cubierta. La efectividad de las AM en mantener la firmeza se le atribuye parcialmente a la disminución de los procesos fisiológicos de degradación y al mantenimiento de alta humedad relativa, cercana a la saturación lo cual previene la deshidratación de los frutos (Alique *et al.*, 2003).

Cuadro 6. Firmeza (kg) de frutos de pitahaya almacenados a 5 °C en cuatro diferentes fechas de evaluación con dos tipos de película plástica y posteriormente expuestos a temperatura ambiente hasta por 12 días.

Días en refrigeración (5 °C)	Días a 20 ± 1 °C				
	0	3	6	9	12
8	0.16 b ^z	0.17 b	0.16 a	0.17 b	0.22 b
16	0.13 a	0.14 a	0.17 a	0.18 b	0.16 a
24	0.14 ab	0.13 a	0.14 a	0.10 a	
32	0.14 ab	0.12 a			
DMSH	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02
CV (%)	20.61	17.66	22.70	20.68	15.10

Película plástica	Días a 20 ± 1 °C				
	0	3	6	9	12
Testigo	0.15 a ^z	0.15 b	0.17 a	0.15 ab	0.19 a
PBD	0.14 a	0.14ab	0.14 a	0.17 b	0.21 a
PD-960	0.14 a	0.13 a	0.15 a	0.13 a	0.18 a
DMSH	0.03	0.02	0.04	0.03	0.04
CV (%)	20.61	17.66	22.70	20.68	15.10

^zValores con letras distintas dentro de columnas indican diferencias de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. PBD: polietileno de baja densidad; PD-960: película Cryovac; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

Pelayo *et al.* (2003) encontraron que fresas almacenadas en AM con altas concentraciones de CO₂ tuvieron mayor firmeza ($P \leq 0.05$) que las almacenadas bajo atmósfera normal, sin embargo, comentan que el mecanismo por el cual tanto las bajas temperaturas como el CO₂ influyen en la firmeza de las fresas no ha sido entendido aún, Harker *et al.* (2000) propusieron que un efecto indirecto del CO₂ es en el pH apoplástico con una subsiguiente precipitación de pectinas solubles que mejoran los enlaces celulares pudiendo ser la causa de los efectos de incremento de firmeza en los frutos.

Producción de etanol y acetaldehído

El etanol es producido por los frutos durante el proceso de maduración (Podd y Van Staden, 1998), sin embargo, el ritmo con el que es producido puede verse afectado por diferentes circunstancias durante el manejo postcosecha. A mayor número de días de almacenamiento mayor fue la producción de etanol. Su producción se incrementó ($P \leq 0.05$) con 24 y 32 días de almacenamiento. Al ser expuestos los frutos a temperatura ambiente, los que habían tenido baja producción se igualaron a los de mayor producción (Cuadro 7). Se observó una tendencia de llegar a una máxima producción y posteriormente ésta disminuye. El incremento de etanol durante el almacenamiento en frío se puede deber a un deterioro de la membrana debido a daño por frío (Schirra, 1992), por lo que se dió una máxima producción y el deterioro pudo ser muy severo al grado de que el tejido dejó de seguir produciendo etanol y es por eso que se observó la disminución en su producción, sin embargo, se utilizaron AM modificadas con la finalidad de evitar daños por frío.

Hubo diferencias ($P \leq 0.05$) entre los frutos con película y el testigo. Los frutos con película produjeron mayor cantidad de etanol, 196 % más que el testigo (Cuadro 7). Durante la exposición a temperatura ambiente el testigo continuó siendo el de menor producción ($P \leq 0.05$). Se sabe que las AM reducen los daños por frío y que estos a su vez pueden promover la producción de etanol, sin embargo las películas plásticas también pueden tener otro efecto el cual consiste en proporcionarle al producto una baja concentración de O_2 y alta de CO_2 provocando respiración anaerobia (Flores *et al.*, 2004). En el presente estudio los frutos con película PD-960 que son los que tienen mayor concentración de CO_2 son los que tuvieron mayor producción de etanol coincidiendo con los resultados de Flores *et al.* (2004) en melón.

Cuadro 7. Producción de etanol ($\text{mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$) de frutos de pitahaya almacenados a $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en cuatro diferentes fechas de evaluación con dos tipos de película plástica y posteriormente expuestos a temperatura ambiente hasta por 12 días.

Días en refrigeración ($5\text{ }^{\circ}\text{C}$)	Días a $20 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$				
	0	3	6	9	12
8	31.07a ^z	137.17a	118.21b	110.56a	84.28a
16	55.95a	106.19a	149.10b	185.69ab	112.18a
24	104.67b	82.84a	47.90a	251.19b	
32	96.90b	104.92a			
DMSH	40.39266	63.89063	50.93750	91.45763	29.65764
CV (%)	53.68	56.84	47.86	49.48	35.20

Película plástica	Días a $20 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$				
	0	3	6	9	12
Testigo	31.24a ^z	37.76a	48.79a	131.66a	58.14a
PBD	92.35b	109.11b	123.25b	219.31a	105.05b
PD-960	92.85b	176.46c	143.16b	196.47a	131.51b
DMSH	33.49973	52.98780	50.93750	91.45763	44.12314
CV (%)	53.68	56.84	47.86	49.48	35.20

^zValores con letras distintas dentro de columnas indican diferencias de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. BD: polietileno de baja densidad; PD-960: película Cryovac; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

En el acetaldehído no hubo diferencias significativas durante el tiempo en almacenamiento en frío (Cuadro 8). Al igual que el etanol se observó una producción máxima y posteriormente decreció. Flores *et al.* (2004) reportaron disminución de producción de acetaldehído en melones almacenados en refrigeración. Las diferencias significativas que se encontraron en las películas fueron con la película PD-960 en el día 3 y 12, esto puede deberse al balance, dentro del empaque, de CO_2 y O_2 como se discutió en la producción de etanol, Hansen *et al.* (2001). en un estudio en brócoli observaron que la producción de

acetaldehído dependía de los niveles de O₂ existentes ya que ésta aumentó conforme el O₂ existente disminuyó independientemente de la concentración de CO₂.

Cuadro 8. Producción de acetaldehído (mg·100 g⁻¹) de frutos de pitahaya almacenados a 5 °C en cuatro diferentes fechas de evaluación con dos tipos de película plástica y posteriormente expuestos a temperatura ambiente hasta por 12 días.

Días en refrigeración (5 °C)	Días a 20 ± 1 °C				
	0	3	6	9	12
8	1.69 a ^z	3.54 b	1.29 a	1.71 a	1.51 b
16	1.62 a	1.95 ab	2.87 b	2.90 a	1.09 a
24	2.42 a	1.40 a	0.94 a	2.65 a	
32	1.67 a	1.63 a			
DMSH	1.030	1.670	1.206	1.570	0.368
CV (%)	53.41	75.13	70.12	64.19	33.10

Película plástica	Días a 20 ± 1 °C				
	0	3	6	9	12
Testigo	1.51 a ^z	1.05 a	1.42 a	2.53 a	0.94 a
PBD	2.25 a	2.11 a	1.80 a	2.31 a	1.06 a
PD-960	1.79 a	3.24 b	1.87 a	2.40 a	1.89 b
DMSH	0.85 4	1.385	1.206	2.625	0.548
CV (%)	53.41	75.13	70.12	64.19	33.10

^zValores con letras distintas dentro de columnas indican diferencias de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. PBD: polietileno de baja densidad; PD-960: película Cryovac; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

Las concentraciones de acetaldehído de los frutos con película fueron iguales estadísticamente al testigo, altos contenidos de etanol y acetaldehído producen sabores desagradables en los frutos (Pesis, 2002) de tal manera que las AM probadas tienen poca influencia en la producción de este compuesto por lo que el sabor se ve favorecido con estas concentraciones, no es que precisamente mejore el sabor sino que por lo menos no influyó

para que éste sea desagradable en comparación con los frutos que no tienen película plástica. Otra ventaja radica en que es el producto intermedio entre el piruvato y el etanol dentro de la ruta metabólica de la fermentación (Oomens, 2001), al existir bajos niveles de acetaldehído menor sería el aporte de producción de etanol a partir de acetaldehído (Petracek, *et al.*, 2002).

Pérdida de peso

Como se esperaba, la pérdida de peso fue significativamente reducida por las películas plásticas (Figura 1). La pérdida de peso se aceleró a mayor tiempo de almacenamiento en frío. La mayor pérdida de peso, en los frutos testigo fue al final del experimento con 24 días a 5 °C y 9 días a temperatura ambiente con una pérdida promedio de peso de 3.5 % por día y con 32 días a 5 °C y tres días a temperatura ambiente se obtuvo un promedio de pérdida diaria del 6 %. Con 8 y 16 días de almacenamiento la pérdida diaria fue de 1.5 y 1 %, respectivamente. La pérdida de peso en los frutos con cubierta plástica no fue mayor al 1 %. Las películas plásticas confieren una gran ventaja al fruto durante el almacenamiento ofreciendo mayor tiempo para la comercialización ya que ayudan a conservar por más tiempo una buena apariencia protegiendo a las brácteas de la deshidratación y guardando la apariencia carnosa de la cáscara la cual es muy importante para la aceptación en el mercado.

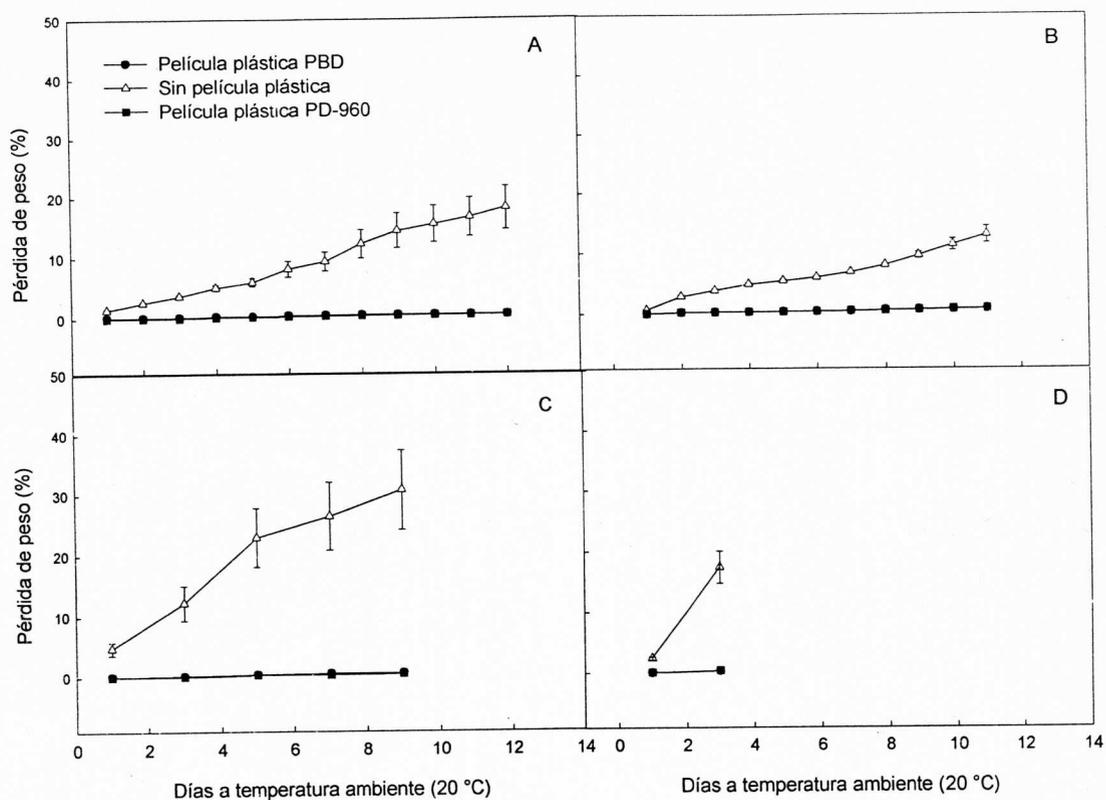


Figura 1. Pérdida de peso en frutos de pitahaya almacenados a 20 ± 1 °C después de 8 (A), 16 (B), 24 (C) y 32 (D) días de almacenamiento a 5 °C cubiertos con dos tipos de películas plásticas.

Cada punto representa la media de cuatro observaciones \pm error estándar. PBD: polietileno de baja densidad; PD-960: película Cryovac.

Calidad visual

La calidad visual se vió afectada conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento. Los frutos que mostraron mayor deterioro en la apariencia fueron los que no contaban con cubierta.

Se dió una relación inversa entre el tiempo de almacenamiento en frío y el tiempo de exposición al ambiente, a mayor tiempo de en refrigeración menor tiempo de exposición al

ambiente (Cuadro 9), lo que concuerda con los resultados obtenidos por Nerd *et al.* (1999) ellos sugieren que el rápido decremento de la calidad que sufren los frutos al sacarlos de la refrigeración se debe a que son cosechados en un punto muy cercano a la obtención del máximo color.

Las películas plásticas ayudan considerablemente en conservar la calidad visual de los frutos (Cuadro 9). Hubo diferencias significativas entre el tipo de películas. La que conservó mejor la calidad fue la película PD-960, se puede deber a que es menos permeable y conservó mayor humedad, esto coincide con lo reportado por Flores *et al.* (2002).

Cuadro 9. Calidad visual de frutos de pitahaya almacenados a 5 °C en cuatro diferentes fechas de evaluación con dos tipos de película plástica y posteriormente expuestos a temperatura ambiente hasta por 12 días.

Días en refrigeración (5 °C)	Días a 20 ± 1 °C				
	0	3	6	9	12
8	0.21 ab ^z	1.19 b	0.46 a	2.36 ab	0.72 a
16	0.13 a	0.43 a	0.76 a	1.79 a	1.96 b
24	0.80 b	1.36 b	2.62 b	3.38 b	
32	1.46 c	2.68 c			
DMSH	0.60	0.61	0.70	1.35	0.47
CV (%)	88.53	41.55	54.35	52.96	40.83

Película plástica	Días a 20 ± 1 °C				
	0	3	6	9	12
Testigo	1.58 b ^z	2.36 c	1.74 b	3.06 a	2.35 b
PBD	0.23 a	1.38 b	1.33 ab	2.36 a	1.06 a
PD-960	0.14 a	0.51 a	0.77 a	2.12 a	0.60 a
DMSH	0.50	0.51	0.70	1.35	0.70
CV (%)	88.53	41.55	54.35	52.96	40.83

^zValores con letras distintas dentro de columnas indican diferencias de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. PBD: polietileno de baja densidad; PD-960: película Cryovac; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

Es importante la conservación de la humedad relativa dentro del empaque ya que Bower *et al.* (2003) sugieren que la pérdida de agua es el factor principal que influye en la apariencia del fruto ya que conlleva al fruto a una mayor susceptibilidad al frío.

Celikel *et al.* (2003) encontraron que películas menos permeables mantuvieron una mayor calidad, sugieren que se pueden requerir películas con mayor permeabilidad durante el almacenamiento a temperatura ambiente para evitar respiración anaerobia y por ende mal sabor, por lo que es conveniente abrir el empaque inmediatamente después de remover el producto de la refrigeración y pasarlo a temperatura ambiente para prevenir condensación y actividad microbiana.

Sabor

El sabor no se afectó por el tiempo de almacenamiento en frío (Cuadro 10). Durante el almacenamiento el sabor mejoró posiblemente porque continuó el proceso de maduración, ya que al momento de la cosecha su sabor era insípido. Al sacar los frutos de refrigeración independientemente del tiempo que duraron almacenados su sabor fue muy bueno pero conforme avanzó el tiempo en exposición a temperatura ambiente el sabor cambió ligeramente. Este comportamiento coincide con lo encontrado por Nerd *et al.* (1999), el sabor de las pitahayas almacenadas a 6 °C se mantuvo, pero al ser expuestos a temperatura ambiente la calidad disminuyó rápidamente. Ke *et al.* (1991) le atribuyeron el cambio de sabor en duraznos almacenados a 5 °C al daño por frío en frutos expuestos a bajas concentraciones de O₂.

En cuanto a las cubiertas plásticas solo hubo diferencias significativas hasta el día 12 de exposición a temperatura ambiente a partir del día 6 el sabor mostró mayor deterioro, sin

embargo, solo llegó al 30 % del nivel máximo de desagrado (Cuadro 10). A pesar de que los frutos con película produjeron mayor cantidad de etanol el sabor no fue influenciado ya que lo frutos que no tuvieron películas plásticas y menor producción de etanol no tuvieron sabor diferente, coincidiendo con Ke y Kader (2003) en un estudio con naranja. El contenido de etanol y acetaldehído son importantes para la determinación del sabor, pero otros compuestos como SST y la acidez titulable y sus interacciones con compuestos volátiles pueden también intervenir en el sabor de los frutos (Ke y Kader, 1990).

Cuadro 10. Sabor de frutos de pitahaya almacenados a 5 °C en cuatro diferentes fechas de evaluación con dos tipos de película plástica y posteriormente expuestos a temperatura ambiente hasta por 12 días.

Días en refrigeración (5 °C)	Días a 20 ± 1 °C				
	0	3	6	9	12
8	1.53 b ^z	1.02 a	0.92 a	2.06 a	0.85 a
16	0.48 a	1.16 a	1.14 a	1.68 a	1.41 b
24	0.62 a	0.61 a	1.27 a	1.43 a	
32	0.83 a	0.88 a			
DMSH	0.62	0.65	0.97	1.26	0.47
CV (%)	68.82	67.65	86.71	72.62	48.5

Película plástica	Días a 20 ± 1 °C				
	0	3	6	9	12
Testigo	0.74 a ^z	0.96 a	1.21 a	1.92 a	1.49 b
PBD	0.73 a	0.94 a	0.98 a	1.38 a	1.15 ab
PD-960	1.12 a	0.84 a	1.13 a	1.87 a	0.75 a
DMSH	0.51	0.54	0.97	1.26	0.70
CV (%)	68.82	67.65	86.71	72.62	48.50

^zValores con letras distintas dentro de columnas indican diferencias de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. PBD: polietileno de baja densidad; PD-960: película Cryovac; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

En el presente estudio se observa que existe una relación entre los SST y el sabor ya que a medida que disminuyen lo SST de igual forma se reduce la calidad del sabor, coincidiendo con lo encontrado por Van *et al.* (2002).

La pitahaya (*Hylocereus undantus*) es un fruto no climatérico, tiene un comportamiento similar a la pitaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) (Nerd y Mizarahi, 1998). Su producción de etileno es muy baja. La producción de etileno de los frutos sin película fue de 25 a 32 $\mu\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ durante la exposición a temperatura ambiente (Figura 2), Watkins y Ekman (2005) mencionaron que bajas temperaturas pueden inhibir o estimular la producción de etileno, y sus efectos solo pueden ser visibles hasta que se saca el fruto a temperaturas cálidas. Durante el tiempo de refrigeración los frutos tuvieron un intervalo de producción de 20 a 30 $\mu\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$. En frutos de pitahaya almacenados a 20 ± 1 °C durante 6 días se tiene registrada una producción de etileno de 16 a 22 $\mu\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ (Ortiz, 2000). La producción de etileno en los frutos con cubierta fue muy similar entre películas, se notó mayor producción de etileno en la atmósfera interna de los frutos con película PD-960. Flores *et al.* (2004) no encontraron diferencias en la producción de etileno de frutos almacenados con AM.

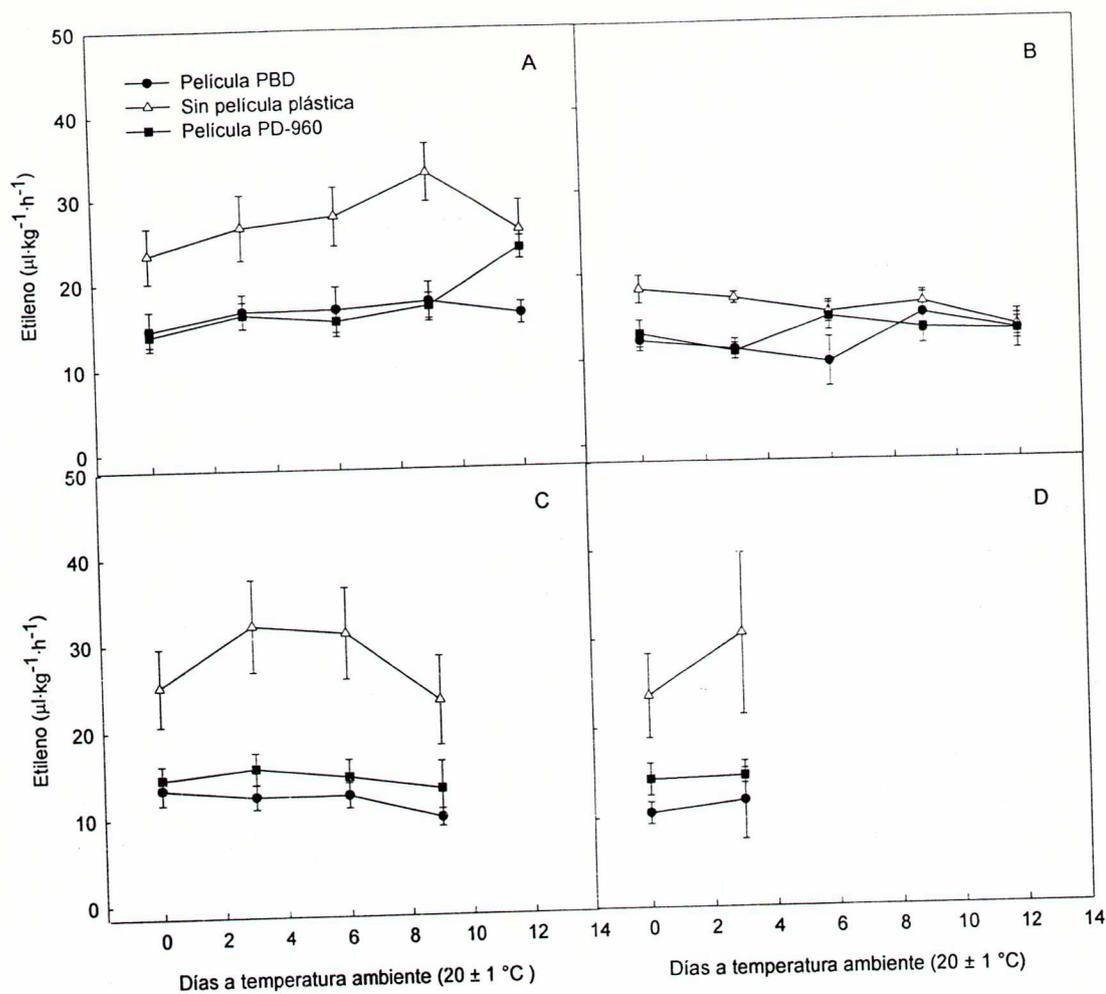


Figura 2. Producción de etileno de frutos pitahaya almacenados a 20 ± 1 °C después de 8 (A), 16 (B), 24 (C) y 32 (D) días de almacenamiento a 5 °C cubiertos con dos tipos de películas plásticas.

Cada punto representa la media de cuatro observaciones \pm error estándar. PBD: polietileno de baja densidad; PD-960: película Cryovac.

La respiración de los frutos sin película se mantuvo constante aún después de salir de refrigeración. La velocidad de respiración de la pitahaya disminuye después de la cosecha, presentando un comportamiento similar al de algunas especies de *Opuntia* (Ortiz, 2000). Hubo diferencias ($P \leq 0.05$) en la respiración según el tipo de película, los frutos que tuvieron mayor respiración fueron los empacados con la película PD-960, a partir del tercer día de

exposición a temperatura ambiente mientras que los frutos con película PBD mantuvieron la respiración constante (Figura 3). La pitahaya tiene una tasa de respiración baja cuando está madura (Van *et al.*, 2002). Después de 32 días de almacenamiento al ponerlo a temperatura ambiente la respiración se incrementó más rápido en comparación con los frutos sacados en las fechas anteriores. Almacenamiento prolongado en bajas temperaturas provocaron un incremento en la respiración de cerezas almacenadas con películas plásticas y posteriormente expuestas a 20 °C (Alique *et al.*, 2003).

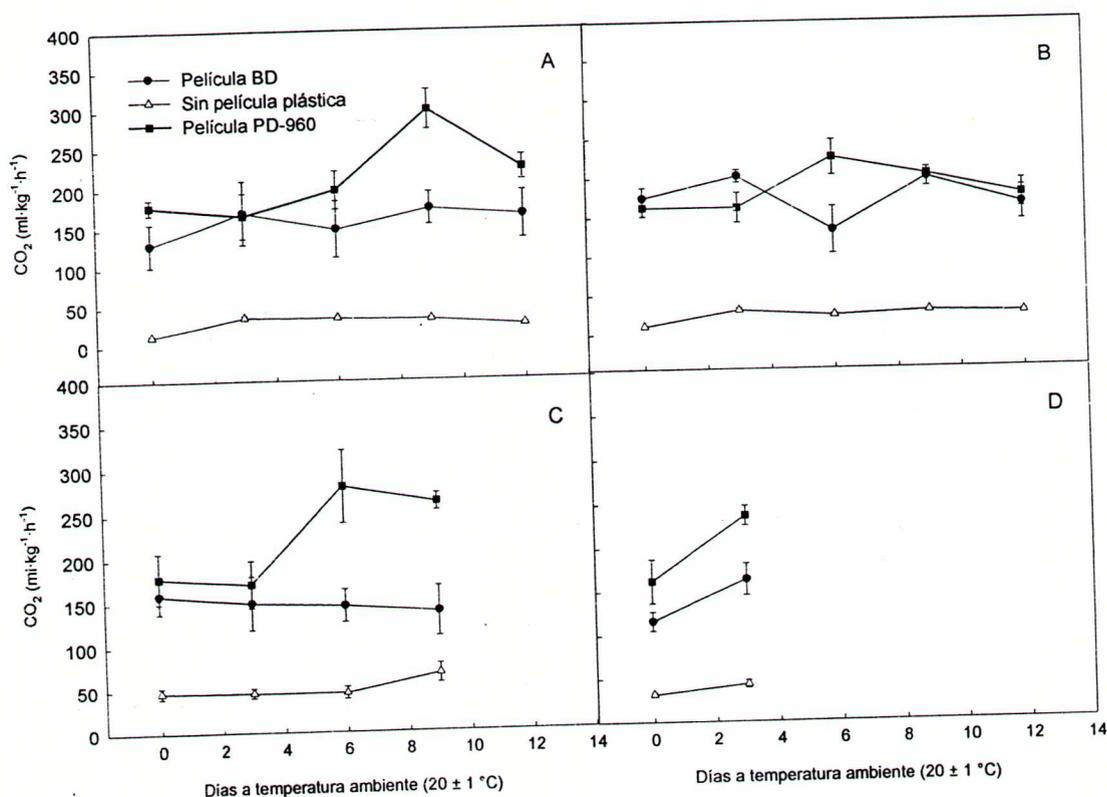


Figura 3. Respiración de frutos de pitahaya almacenados a 20 °C después de 8 (A), 16 (B), 24 (C) y 32 (D) días de almacenamiento a 5 °C con dos tipos de películas plásticas.

Cada punto representa la media de cuatro observaciones \pm error estándar. PBD: polietileno de baja densidad; PD-960: película Cryovac.

La respiración de los frutos a la llegada al laboratorio fue de $40.24 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, a los 8 días de almacenados la respiración de los frutos con película fue de $12.78 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, sin embargo, a los 24 días de almacenamiento en frío la respiración se incrementó considerablemente a $46.85 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$.

Uno de los principales efectos fisiológicos de las AM en el metabolismo de los frutos es reducir la respiración durante el tiempo de almacenamiento (Pretel *et al.* 2000). La actividad respiratoria de los frutos es una función del efecto de la temperatura sobre el metabolismo y las propiedades del transporte de gases a través de las películas flexibles que constituyen el empaque (Zagory y Kader, 1988 citados por Velázquez *et al.*, 1998).

CONCLUSIONES

En general las variables estudiadas fueron favorecidas con el uso de atmósferas modificadas y refrigeración. Sobresaliendo la pérdida de peso, calidad visual y acidez titulable.

El número de días en refrigeración influyó en el contenido de azúcares totales y vitamina C aunque no existieron diferencias significativas con el uso de la película plástica. A mayor duración en refrigeración menor fue la concentración de vitamina C, mientras que el máximo contenido de azúcares totales se dio a los 24 días de almacenamiento en frío. Conforme aumentó el tiempo de almacenamiento en frío disminuyó la calidad visual y aceleración del deterioro al exponer los frutos posteriormente a temperatura ambiente.

Los frutos con película PBD mantuvieron mayor cantidad de sólidos solubles totales y firmeza, aunque el periodo de almacenamiento en frío no influyó en la concentración de los mismos. La producción de etanol presentó una relación directa con el periodo de refrigeración, y con el uso de películas plásticas, producción que se acrecentó al exponer los

frutos a temperatura ambiente ($20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$), independientemente del tipo de película, sin afectar el sabor.

La producción de etileno en los frutos sin película plástica fue mayor al ser almacenados durante 8 y 24 días en refrigeración, mientras que en los frutos con película se mantuvo baja y constante. La respiración se incrementó en los frutos con película PD-960 con 8 y 24 días de almacenamiento en frío.

La película PBD con 8 o 16 días almacenamiento en frío a $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ fue la mejor combinación de factores ya que esta película es más económica que la PD-960 y ésta última no mostró ventajas sobre las variables estudiadas y máximo 16 días de almacenamiento en frío ya que con 24 días la fruta al ser expuesta a temperatura ambiente su calidad visual decrece considerablemente, con lo que fue posible conservar la fruta durante 12 días adicionales a temperatura ambiente, alcanzando un total de 16 más 12 días de conservación contra 12 días sin película y la intemperie.

LITERATURA CITADA

- ALIQUE, R.; MARTÍNEZ, M. A.; ALONSO, J. 2003. Influence of the modified atmosphere packaging on shelf life and quality of Navalinda sweet cherry. *Eur. Food. Res. Technol.* 217: 416-420.
- AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis*, 15th ed. Association of Official Analytical Chemis. Arlington. VA., USA.
- BARBAEU, G. 1999. La pitahaya rouge, un nouveau fruit exotique. *Fruits* 45: 141-147.
- BOWER, J. P.; DENNISON, M. T.; FOWLER, K. 2003. Avocado and mango cold storage damage as related to water loss control. *Acta Hort.* 628: 401-406.

- BRAVO H., H. 1978. Las Cactáceas de México. Vol. I 2ª Edición. Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 1758-1.743.
- ÇELIKEL, F. G.; KAYNAS, K.; ERENOGLU, B. 2003. A study on modified atmosphere storage of strawberry. *Acta Hort.* 628: 423-430
- CENTURIÓN-YAJ, A.R.; SOLÍS-PEREIRA, S.; BAÉZ-SAÑUDO R.; MERCADO-SILVA, E.; SAUCEDO-VELOZ, C.; SAURI-DUCH, E. 1999. Variación de las principales características de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su maduración postcosecha. *Horticultura Mexicana.* 7: 419-425.
- DAVIS, L. P.; CHACE, G. W. 1969. Determination of alcohol in citrus juice by gas chromatographic analysis of head space. *HortScience* 4(2): 117-119.
- FERNÁNDEZ-TRUJILLO, P.; ARTÉS, F. 1997. Quality improvement of peaches by intermittent warming and modified-atmosphere packaging. *Eur. Food Res. Technol.* 205: 59-63.
- FLORES, F. B.; MARTÍNEZ-MADRID, M. C.; BEN A., M.; PECH, J. C.; LATCHÉ, A.; ROMOJARO, F. 2004. Modified atmosphere packaging confers additional chilling tolerant on ethylene-inhibited cantaloupe Charentais melon fruit. *Eur. Food Res. Technol.* 219: 614-619.
- GARIBAY K., A. M. 1982. Relación de las cosas de Yucatán. Traducción de la Obra de Fray Diego de Landa de 1560 tomo XXVIII. 12ava. Edición. Ed. Porrúa, S.A. D.F. México,
- HANSEN, M. E.; SORENSEN, H.; CANTWELL, M. 2001. Changes in acetaldehyde, ethanol and amino acid concentrations in broccoli florets during air and controlled atmosphere storage. *Postharvest Biol. Tech.* 22: 227-237.

- HARKER, F. R.; ELGAR, H. J.; WATKINS, C. B.; JACKSON, P. J.; HALLETT, I. C.
2000. Physical and mechanical changes in strawberry fruit after high carbon dioxide treatments. *Postharvest Biol. Technol.* 19: 139-146.
- HOLCROFT, D. M.; KADER, A. A. 1999. Controlled atmosphere-induced changes in pH and organic acid metabolism may affect color of stored strawberry fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 17: 19-32.
- JACOMINO, A. P.; URBANO B., I.; GRÍGOLI DE LUCA S., C. I.; MONTEIRO S., J. M.
2005. Preservation of cold storage guavas influenced by package materials. *Packag. Technol. Sci.* 18: 71-76.
- KADER, A. A. 1992. Modified atmosphere during transport and storage, pp. 85-92. *In: Postharvest Technology of Horticultural Crops.* Kader, A. A. (ed.). University of California Davis. Oakland, California, USA.
- KE, D.; KADER, A. 1990. Tolerance of 'Valencia' oranges to controlled atmospheres, as determined by physiological responses and quality attributes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115(5): 779-783.
- KE, D.; RODRÍGUEZ S. L.; KADER, A. 1991. Physiological responses and quality attributes of peaches kept in low oxygen atmospheres. *Sci. Hort.* 47: 295-303.
- LEE, S. K.; KADER, A. A. 2000. Preharvest and postharvest factor influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biol. Technol.* 20: 207-220.
- LUDERS, L. 1999. The pitaya or dragon fruit. *Agnote* 778.
- LOPEZ, H. 1994. El cultivo de la pitahaya. Instituto Nicarangüense de Tecnología Agropecuaria (INTA). 25 pp.

- MENDEIETA R. M.; DEL AMO R. S.; 1981. Catálogo de las Plantas Medicinales del Estado de Yucatán. Instituto Nacional de Investigaciones sobre recursos bióticos. Jalapa, Veracruz. Ed. CECOSA, D.F., México. 428 p.
- MOLLENDORFF L., J.; JACOBS, G.; DE VILLIERS, O. T. 1992. The effects of storage temperature and fruit size on firmness, extractable juice, woolliness and browning in two nectarine cultivars. *J. Hort. Sci.* 67: 647-654.
- MOTA F., W.; CHAMHUM S., L. C.; CECON, P. R.; FINGER, F. L. 2003. Waxes and plastic film in relation to the shelf life of yellow passion fruit. *Scientia Agrícola* 60: 51-57.
- NERD, A.; MIZRAHI, Y. 1997. Reproductive biology of cactus fruit crops. *Hort. Rev.* 18: 321-349.
- NERD, A.; MIZRAHI, Y. 1998. Fruit development and ripening in yellow pitaya. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 123: 560-562.
- NERD, A.; MIZRAHI, Y. 1999. The effect of ripening stage on fruit quality after storage of yellow pitaya. *Postharvest Biol. Technol* 15: 99-105.
- OOMENS, J.; PERSIJN, S. T.; PARKER D., H.; HARREN F.,J. 2001. The onset of fermentation: real-time measurements and model calculation of ethanol and acetaldehyde emission. *Acta Hort.* 553: 505-506
- ORTIZ H., Y. D. 1995. Avances en el conocimiento ecofisiológico de la pitahaya (*Hylocereus undatus*). Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México. México. 159 p.
- ORTIZ, H. Y. 2000. Hacia el Conocimiento y Conservación de la Pitahaya (*Hylocereus* spp.). IPN-SIBEJ-CONACYT-FMCN. Oaxaca, México.

- PELAYO, C.; EBELER, S. E.; KADER, A. A. 2003. Postharvest life and flavor quality of three strawberry cultivars kept at 5 °C in air or air + 20 Kpa CO₂. *Postharvest Biol. Technol.* 27: 171-183.
- PESIS, E.; DVIR, O.; FEYENBERG, O.; BEN-ARIE, R.; ACKERMAN, M.; LICHTER, A. Production of acetaldehyde and ethanol during maturation and modified atmosphere storage of litchi fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 26: 157-165.
- PETRACEK, P.; JOLES, D. W.; SHIRAZI, A.; CAMERON, A. C. 2002. Modified atmosphere packaging of sweet cherry (*Prunus avium* L., cv. Sams) fruit: metabolic responses to oxygen, carbon dioxide and temperature. *Postharvest Biol. Technol.* 24: 259-270.
- PODD, L. A.; VAN STADEN, J. 1998. The role of ethanol and acetaldehyde in flower senescence and fruit ripening- A review. *Plant Growth Regul.* 26: 183-189.
- PRETEL, M. T.; SOUTY, M.; ROMOJARO, F. 2000. Use of passive and active modified atmosphere packaging to prolong the postharvest life of three varieties of apricot (*Prunus armeniaca*, L.). *Eur. Food Res. Technol.* 211: 191-198.
- REYES R., 1995. El cultivo de las pitahayas y sus perspectivas de desarrollo en México. Gobierno del Estado de Tabasco y Secretaria de Fomento Económico. Ed. Grupo Corporativo GOHE S.A. de C.V. Villahermosa, Tabasco, México. 92 p.
- RODRÍGUEZ C., A. 2000. Pitahayas: Estado mundial de su cultivo y comercialización. Fundación Yucatán Produce A. C. y Universidad Autónoma Chapingo. Yucatán, México. 153 p.
- RODRÍGUEZ-FELIX, A. 2002. Postharvest physiology and technology of cactus pear fruits and cactus leaves. *Acta Hort.* 581: 191-199.

- SILVA, C. T. C.; ANDRADE, J. S. 1997. Postharvest modifications in camu-camu fruit (*Myrciaria dubia* Mc Vaugh) in response to stage of maturation and modified atmosphere. *Acta Hort.* 452: 23-26.
- SCHIRRA, M. 1993. Behaviour of 'Star Ruby' grapefruits under chilling and non-chilling storage temperature. *Postharvest Biol. Technol.* 2: 315-327.
- VAN, T. L.; NGU, N.; DUY, D. N.; THANH, H. H. T. 2002. Dragon fruit quality and storage life: effect of harvesting time, use of plant growth regulators and modified atmosphere packaging. *Acta Hort.* 575: 611-621.
- VELAZQUES DE LA CRUZ, G.; MARIN-POLO, M. O.; MARTÍNEZ-PENICHE, R.; ROBLES-CÁRDENAS, M. 1998. Efecto de la temperatura, humedad relativa y tipo de recubrimiento sobre la respiración de la guayaba. *Cienc. Tenol. Aliment.* 2: 54-59.
- WATTS, B. M.; YLIMAKI, G. L.; JEFFERY, L. E.; ELÍAS, L. G. 1992. Recolección y análisis de datos sensoriales. *Métodos Sensoriales Básicos para la Evaluación de Alimentos*. Traducido al español por Oficina de Traducciones, Secretaria de Estado, Canadá. Internacional Development Research Center. Ottawa, Canadá. 169 p.
- WITHAM, F. H.; BLAYDER, D. F.; DEVLIN, R. M. 1971. *Experiments in plant physiology*. Van Nostrand Company. New York. USA. 245 p.
- WATKINS, C. B.; EKMAN, J. H. 2005. Storage technologies: Temperature interactions and effects on quality of horticultural products. *Acta Hort.* 682: 1527-1533.
- YAMASHITA, F.; BENASSI, M. T. 2000. Influencia da embalagem de atmosfera modificada e do tratamento com calcio na cinética de degradacao de ácido ascórbico e perda de massa em goiabas (*Psidium guajava* L.). *Ciênc. Tecnol. Aliment.* 20(1): 27-31.

**IV. ACTIVIDAD ENZIMÁTICA EN FRUTOS DE *Hylocereus undantus*
HAW. DURANTE POSCOSECHA Y CON EL USO DE
ATMÓSFERAS MODIFICADAS.**

IV. ACTIVIDAD ENZIMÁTICA EN FRUTOS DE *Hylocereus undantus* Haw. DURANTE POSCOSECHA Y CON EL USO DE ATMÓSFERAS MODIFICADAS

S. P. Ramírez-Ramírez¹†, M. T. Martínez-Damián¹; M. T. Colinas-León¹; A. F. Barrientos-
Priego¹. T. Vásquez-Rojas¹

¹Posgrado en Horticultura, Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo.
Km. 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. C.P. 56230. MÉXICO.
sweetia@correo.chapingo.mx (†autor responsable).

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue conocer la actividad enzimática en postcosecha de frutos de pitahaya con el uso de películas plásticas y refrigeración. Se usaron dos tipos de películas plásticas, una de baja densidad (PBD) y una película multicapa PD-960 de Cryovac, con dos temperaturas de almacenamiento y a temperatura ambiente (20 ± 1 °C) durante 15 días, y almacenamiento a 5 °C durante 8, 16, 24 y 32 días. Las enzimas estudiadas fueron catalasa (CAT), peroxidasa (POX), polifenoloxidasas (PFO) y pectinmetilesterasa (PME). La producción de etileno estuvo relacionada con la concentración de proteína soluble. La actividad de PFO disminuyó durante el almacenamiento a temperatura ambiente, el tiempo de almacenamiento en frío no influyó en la actividad de PFO pero el uso de películas si, disminuyéndola en un 50 %. La actividad máxima de POX se dio con los contenidos máximos de proteína, la presencia de la película plástica marcó diferencias ($P \leq 0.05$) con el testigo, la refrigeración disminuyó la actividad pero al ser transferidos los frutos a temperatura ambiente la actividad se incrementa 50 %. La actividad de CAT disminuyó significativamente ($P \leq 0.05$) durante la refrigeración, sin embargo, al ser transferidos a temperatura ambiente la actividad incrementó, en los frutos

con película plástica la actividad fue significativamente ($P \leq 0.05$) menor ($7 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ de peso fresco). La actividad de PME fue mayor en los frutos con película PD-960, los días de refrigeración influyeron significativamente ($P \leq 0.05$) tuvieron mayor actividad los frutos con 32 días de refrigeración, sin embargo, la actividad de PME no influyó en la firmeza de los frutos.

Palabras clave adicionales: películas plásticas, pitahaya, polifenoloxidasa, peroxidasa, catalasa, pectinmetilesterasa.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the enzymatic behavior related to the ripening of fruits of pitahaya using of two types of plastic films, low density (PBD) and multilayered film PD-960 of Cryovac, under two storage temperatures, room temperature ($20 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$) during 15 days and storage at $5 \text{ }^\circ\text{C}$ during 8, 16, 24 and 32 days. The enzymes evaluated were catalase (CAT), peroxidase (POX), polyphenoloxidase (PFO) and pectinmethylesterase (PME). It was found that the production of ethylene was related to the concentration of soluble protein. The activity of PFO was reduced during storage at room temperature, the time of cold storage did not influence the activity of PFO but the use of plastic films did, reducing it up to 50 %. The maximum activity of POX coincides with the maximum contents of soluble protein, the presence of plastic film pointed significant differences ($P \leq 0.05$) compared to the control, the cold storage reduced the activity up to a 50 %, when the fruits were transferred to room temperature the activity increased. The CAT activity reduced significantly ($P \leq 0.05$) during cooling, nevertheless, when the fruits were transferred to room temperature the activity increased, in the fruits with plastic film the

activity was significantly ($P \leq 0.05$) lower ($7 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ of fresh weight). The PME activity was higher in the fruits with film PD-960, the days of cold storage influenced significantly ($P \leq 0.05$) and had greater activity with 32 days of cold storage, nevertheless, the activity of PME did not influence fruit firmness.

Additional key words: plastic films, dragon fruit, pitahaya, polyphenoloxidase, peroxidase, catalase, pectinmethylesterase.

INTRODUCCIÓN

La pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw) pertenece a la familia de las cactáceas. Su fruto es de color atractivo, cáscara rosa intenso con brácteas verdes y pulpa blanca con semillas negras muy pequeñas. En la actualidad está teniendo gran demanda en el mercado europeo y japonés. En México se le conoce desde la época prehispánica, sin embargo, se conoce muy poco de la fisiología y comportamiento enzimático de la fruta en postcosecha. El estado de madurez en el que es cosechado el fruto va a influir en el comportamiento postcosecha.

La maduración de los frutos integra un gran número de cambios que ocurren desde las últimas etapas del crecimiento y desarrollo hasta las primeras etapas de senescencia, incluyendo ablandamiento, cambio de color, acumulación de compuestos volátiles, y azúcares que derivan en ácidos orgánicos catalizados por enzimas específicas, estos cambios se traducen en las características sensoriales de los frutos (Sanz, 2005). Las películas plásticas ayudan a mantener las características de la fruta durante la postcosecha, en muchos casos ayudan a retrasar la senescencia mejorando apariencia, textura, sabor y reduciendo el ablandamiento (Remon *et al.*, 2000), sin embargo, es importante reconocer que las atmósferas modificadas también pueden producir cambios no deseados. Las bajas

temperaturas también ayudan a conservar en mejores condiciones las características de los frutos, sin embargo, también pueden causar daños a los mismos o inducir alteraciones metabólicas no deseadas. El ablandamiento de los frutos durante la maduración se atribuye principalmente a la hidrólisis enzimática de los polisacáridos de la pared celular (Wakabayashi, 2000). La acción de algunas enzimas como la pectinmetilesterasa, poliglacturonasa y peroxidasa es trascendental para la calidad de los frutos ya que tienen una importante participación en el ablandamiento de los frutos (Tijssens *et al.*, 1999). El etileno es muy importante para la activación de las enzimas responsables de los cambios que ocurren en las paredes celulares durante la maduración (Karakurt y Huber, 2002). La catalasa es una de las enzimas que protege a las células de las especies activas de oxígeno que son inducidas por frío (Wise y Naylor, 1987), esta enzima cataliza la descomposición de peróxido de hidrógeno para la formación de agua y oxígeno (Salas y Lafuente, 1999), parece inducir la aclimatación del fruto ante el estrés por frío (Prasad, 1997). La peroxidasa también cataliza la descomposición del peróxido de hidrógeno pero difiere de la acción de la catalasa en que la peroxidasa libera radicales libres en lugar de oxígeno y estos radicales son altamente fitotóxicos (Burriss, 1960). Las enzimas fenólicas como la peroxidasa y polifenoloxidasas están relacionadas con el deterioro y oscurecimiento de los frutos.

El objetivo del presente estudio fue conocer el comportamiento de polifenoloxidasas, peroxidasa, catalasa y pectinmetilesterasa, que son las enzimas que están asociadas generalmente al deterioro de los frutos en postcosecha, con el uso de películas plásticas con y sin almacenamiento en frío.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del experimento se usaron frutos de pitahaya cáscara roja y pulpa blanca, provenientes de Tehuacán, Puebla, México. Los cuales inmediatamente después de ser cosechados (septiembre 2003) fueron trasladados al laboratorio, donde se distribuyeron en sus respectivos tratamientos.

Las películas plásticas utilizadas fueron:

- Polietileno de baja densidad (PBD) de calibre 150 (1.5 milésimas de pulgada de espesor) con una permeabilidad al O₂ del $1.62 \times 10^6 \text{ cc}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{atm}^{-1}$ y al CO₂ $2.38 \times 10^5 \text{ cc}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{atm}^{-1}$.
- Película multicapa Cryovac PD-960, de calibre 125 (equivalente a 1.25 milésimos de pulgada con una permeabilidad al oxígeno de $6,000\text{-}8,000 \text{ cc}\cdot\text{m}^{-2}\cdot 24 \text{ h}^{-1}$ (73 °F a 1 atm) y de $19,000\text{-}22,000 \text{ cc}\cdot\text{m}^{-2} 24 \text{ h}^{-1}$ (73 °F a 1 atm) al CO₂.

Los frutos se lavaron, desinfectados (Benlate 10 mg·litro⁻¹), secaron y prepararon con su respectiva película plástica. Se seleccionaron frutos lo más homogéneos posibles en cuanto a tamaño y color, ya que el color es un buen indicador del grado de madurez, se revisaron que no estuvieran dañados mecánicamente o por insectos.

Se realizaron dos experimentos, el primero se hizo a temperatura ambiente (20±1 °C) y con las películas plásticas y el segundo se hizo con refrigeración a 5 °C y posteriormente a temperatura ambiente.

Para el primer experimento se generaron tres tratamientos que fueron: frutos testigo, frutos con polietileno de baja densidad (PBD) y frutos con polietileno PD-960. El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro repeticiones, siendo la unidad experimental un fruto. Se utilizaron cuatro frutos por cada día de evaluación. Los frutos se

expusieron durante 15 días a temperatura ambiente, y se hicieron evaluaciones cada tres días.

El segundo experimento se desarrolló con dos factores, tipo de película y refrigeración. El diseño experimental fue factorial completamente al azar, siendo los factores las películas con tres niveles y los días de almacenamiento cuatro niveles (3 x 4) con cuatro repeticiones, siendo la unidad experimental un fruto. Los frutos se conservaron durante 8, 16, 24, y 32 días en refrigeración a 5 °C y posteriormente se expusieron a temperatura ambiente (20 ±1 °C), y se fueron haciendo evaluaciones cada tres días. Se utilizaron cuatro frutos por tratamiento por cada día de evaluación.

Evaluación de variables

Proteína

Se determinó por el método de Bradford (1976), 1 g de peso fresco de pulpa con 5 ml de buffer Tris-HCl 0.1M pH= 7.1 frío. La mezcla se centrifugó a 12,000 x g por 30 min. 100 µl del sobrenadante y se adicionaron 5 ml de la solución Coomassiee blue, se agitó y registró el incremento de absorbancia a 595 nm. La cuantificación se realizó mediante una calibración con albúmina de bovino.

Producción de etileno

El etileno se cuantificó por el método de respiración estática en el cual el fruto se colocó en un recipiente hermético de volumen conocido por una hora para el caso de los frutos sin película plástica, en los frutos con cubierta se colocó un adherencia de silicón, se tomaron 5 ml de aire y se conservaron en vacutainer a -20 °C hasta su lectura. Las muestras se

inyectaron en un cromatógrafo de gases marca Varian modelo 3400 CX con una columna capilar emacada de 27.5 cm de largo 0.32 mm de diámetro interno y 0.45 mm de diámetro externo y 10 mm de grosor de película tipo abierto con cvapa porosa de silica fundida con base estacionaria de Porapak tipo Q, la temperatura de la columna fue de 80 °C, del detector de 170 °C y del inyectador 150 °C, como estándar se utilizó etileno (INFRA) 103 mg·litro⁻¹. El gas de arrastre fue helio con un flujo de 32.3 ml·min⁻¹ y la cantidad de muestra inyectada fue de 1.0 ml el cual fue tomado con una jeringa hipodérmica.

Comportamiento enzimático

Determinación de Polifenoloxidasa (PFO)

La actividad de PFO se determinó mediante la metodología decrita por Laminkara (1995) con modificaciones hechas por Alia-Tejacal *et al.* (2002). Se tomó 1 g de de pulpa con 5 ml de Tris-HCl frío (pH 6.5), se mezcló en un homogenizador de tejidos durante 30 s, posteriormente se centrifugó la muestra por 30 min a 10,000 x g a 4 °C, el sobrenadante se utilizó para el ensayo, se evaluó el cambio de absorbancia a A₄₂₀ nm; la mezcla de reacción consistió en 2 ml de catecol (25mM)+75 µl del sobrenadante, se determinó el cambio de absorbancia en 2 min. La actividad enzimática se reportó como U·g⁻¹ de peso fresco donde U= Unidad de actividad enzimática y una unidad es igual a la formación de 1 µmol· min⁻¹ de *o*-benzoquinona

Determinación de Peroxidasa (POX)

La extracción de POX fue similar a PFO, se realizó de acuerdo con Flurkey y Jen (1978) con modificaciones de Alia-Tejacal *et al.* (2002), la mezcla de ensayo tuvo un volumen total de 3 ml, 2.5 ml de amortiguador Tris-HCl (pH 7.1), 0.2 ml de guayacol 0.1 M, 0.1 ml de

peróxido de hidrógeno 0.25 % y 0.2 ml del sobrenadante. Se evaluó el cambio de absorbancia en 3 min a 470 nm. La actividad enzimática se registró como $U \cdot g^{-1}$ de peso fresco donde U= Unidad de actividad enzimática y una unidad es igual a la formación de $1 \mu mol \cdot min^{-1}$ de tetraguaicol.

Determinación de Catalasa (CAT)

La actividad de catalasa se evaluó mediante la metodología descrita por Lück, citado por Blackwel *et al.* (1990), monitoreando el cambio a una absorbancia de 240 nm. En una celda de cuarzo se colocan 2.7 mL de 10 mM Tris-HCL (pH 8.5) y 0.1 mL de 0.88% de H_2O_2 en 100 mM Tris-HCl (pH 8.5). La reacción se empezó añadiendo 0.2 mL de extracto crudo y se determinó el cambio de absorbancia en 3 min.

Determinación de la actividad de pectinmetilesterasa (PME)

La actividad de pectinesterasa se determinó con la metodología descrita por Ranngana (1979). Se molieron 5 g de pulpa en 40 ml de pectina cítrica al 1 %. Inmediatamente después se neutralizó la mezcla a un pH de 7.5 con hidróxido de sodio al 0.2 N y se colocó en baño maría a 30 °C. Posteriormente cada 10 min la mezcla se valoraba con hidróxido de sodio de concentración 0.01 N hasta pH 7.5 en un tiempo de reacción de 30 min. La actividad de petinmetilesterasa se evaluó como la cantidad de miligramos de metoxilo desdoblados por la enzima. Las unidades de PME se expresan en meq de ester hidrolizado $\cdot min^{-1} \cdot g^{-1}$ de peso fresco.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el almacenamiento a temperatura ambiente la proteína se incrementó en comparación con el contenido inicial (26.66 mg·100 g⁻¹ peso fresco) lo mismo sucede en plátano según Areas *et al.* (1988) esto puede suceder debido a los cambios que ocurren durante la maduración ya que se requiere la síntesis de nuevas proteínas. Existió un incremento en el contenido hasta el día 9 que posteriormente disminuyó, siendo el tratamiento con película PBD el de la mayor disminución (21.64 mg·100 g⁻¹ peso fresco), existiendo diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo. Los frutos sin película plástica y la película PBD tuvieron un comportamiento similar en la cantidad presente de proteína, no hubo diferencias significativas, los frutos con película PD-960 tuvieron menor contenido (Cuadro 1).

Cuadro 1. Proteína (mg·100 g⁻¹ peso fresco) de frutos de pitahaya almacenados a 20 °C.

Película plástica	Días					
	0	3	6	9	12	15
Testigo	26.66	110.89 b ^z	159.07 a	166.25 a	128.62 b	
BD		103.88 b	137.62 a	152.51 a	21.65 a	140.54 a
PD-960		63.99 a	132.92 a	107.07 a	58.85 a	153.79 a
DMSH		20.58	39.36	61.56	41.41	59.86
CV (%)		11.22	13.92	21.96	30.09	23.5

^zValores con letras distintas dentro de columnas indican diferencias de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

PBD: polietileno de baja densidad; PD-960: película multicapa Cryovac; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

Al igual que en los frutos sin refrigeración el comportamiento del contenido de proteína soluble fue en aumento aunque fue mayor la cantidad encontrada en los frutos con refrigeración. La cantidad de proteína soluble encontrada en los frutos almacenados 5 °C fue disminuyendo a mayor número de días en almacenamiento, al ser transferidos a temperatura ambiente la concentración se incrementó. Hubo diferencias ($P \leq 0.05$) con 16 días de refrigeración durante los primeros 9 días de almacenamiento teniendo una mayor concentración, pero a los 12 días de exposición a temperatura ambiente (20 ± 1 °C) los frutos con 8 días de almacenamiento en frío fueron los que tuvieron significativamente mayor contenido de proteína soluble.

Las películas plásticas influyeron significativamente en la concentración de proteína soluble que se encontró en los frutos (Figura 1).

Durante los 12 días de exposición a temperatura ambiente (20 ± 1 °C) la concentración encontrada de proteína en los frutos sin película plástica fue significativamente mayor ($P \leq 0.05$) del día 0 al día 12 fue de 120 y 207 $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ peso fresco, siendo un 66 % más de proteína soluble en comparación con los frutos con película al final del estudio.

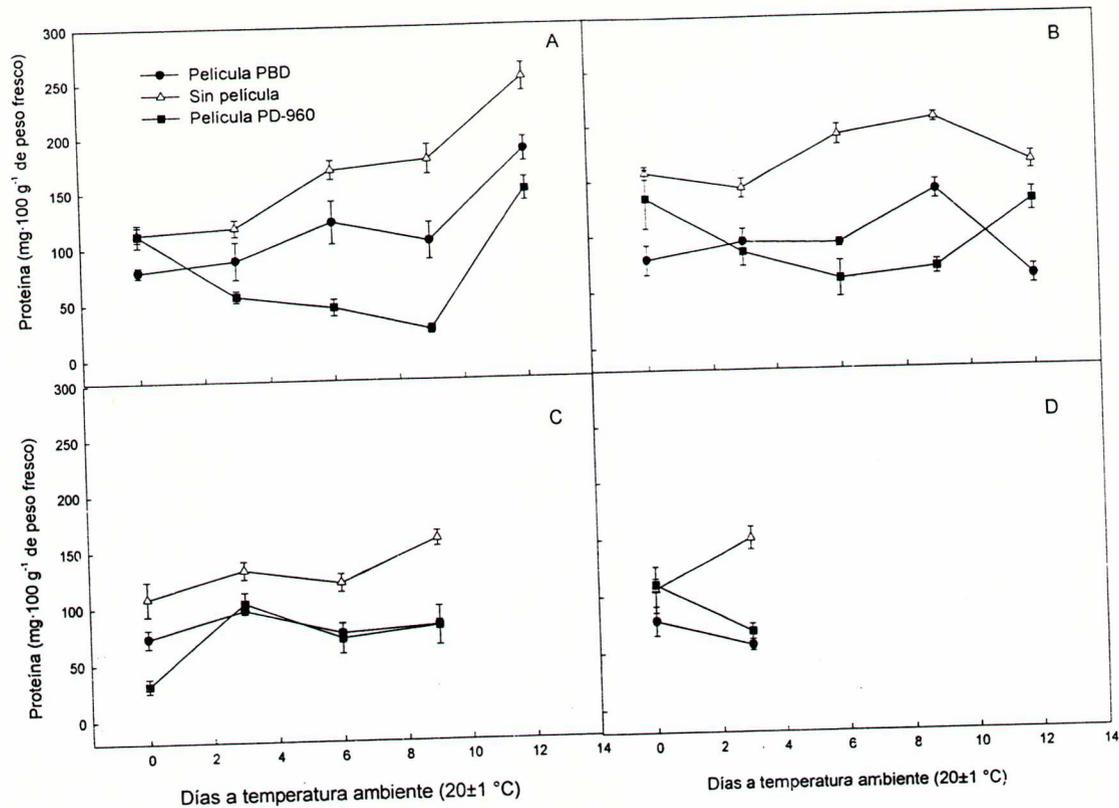


Figura 1. Proteína soluble de frutos pitahaya almacenados a 20 ± 1 °C después de 8 (A), 16 (B), 24 (C) y 32 (D) días de almacenamiento a 5 °C cubiertos con dos tipos de películas plásticas.

Cada punto representa la media de cuatro observaciones \pm error estándar. PBD: polietileno de baja densidad; PD-960: película Cryovac.

Según Wang (1982) tal incremento se debió a que se pueden sintetizar nuevas proteínas por efecto del etileno (Figura 2). En cuanto a las películas plásticas solo hubo diferencias ($P \leq 0.05$) entre ellas a los 6 y 9 días a temperatura ambiente.

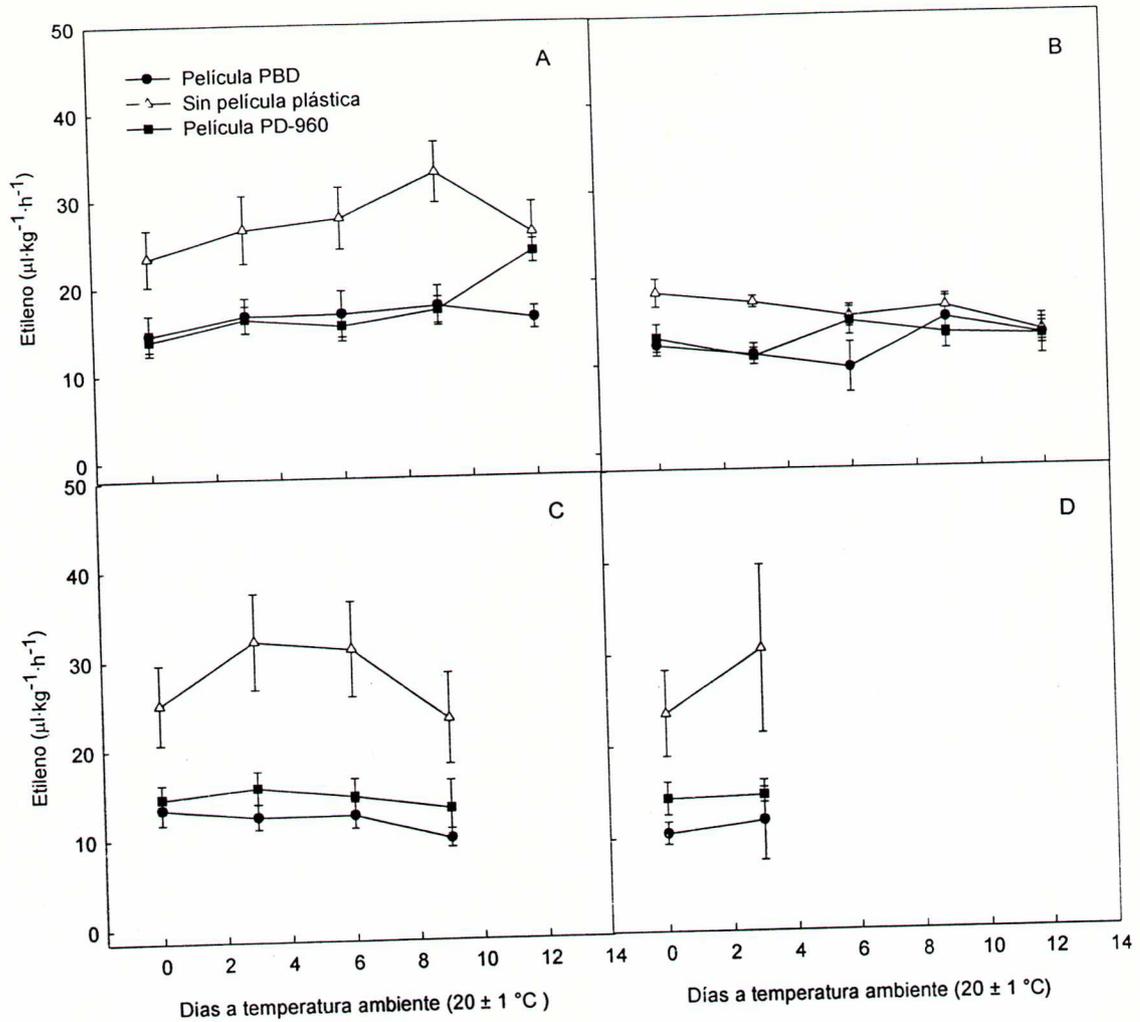


Figura 2. Producción de etileno de frutos pitahaya almacenados a 20 ± 1 °C después de 8 (A), 16 (B), 24 (C) y 32 (D) días de almacenamiento a 5 °C cubiertos con dos tipos de películas plásticas.

Cada punto representa la media de cuatro observaciones \pm error estándar. PBD: polietileno de baja densidad; PD-960: película Cryovac.

Los resultados obtenidos demuestran que la producción de etileno tiene relación con el contenido de proteína soluble, ya que a menor producción de etileno hubo menor cantidad de proteína soluble (Figura 1 y 2), Alia-Tejagal *et al.* (2005) encontraron un comportamiento similar en *Pouteria sapota*.

La actividad de la enzima polifenoloxidasasa (PFO) durante el almacenamiento fue disminuyendo con respecto a la actividad inicial ($47.96 \text{ U}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso fresco) a partir del sexto día de almacenamiento a temperatura ambiente (Figura 3).

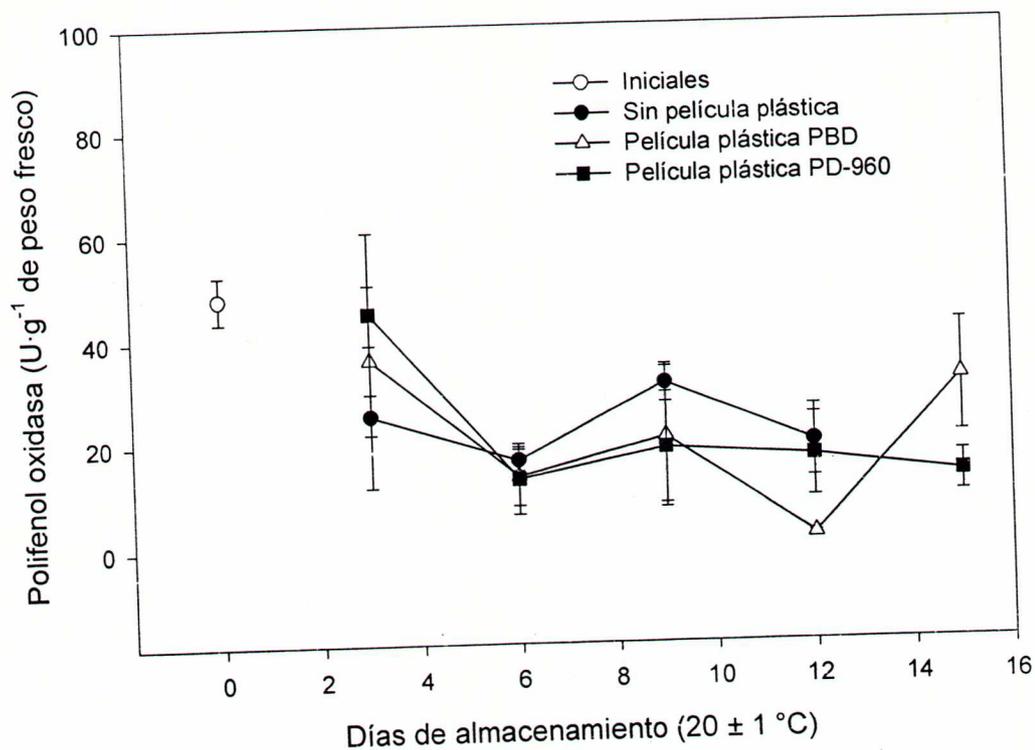


Figura 3. Actividad de polifenol oxidasa en frutos de pitahaya almacenados a $20 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 15 días cubiertos con dos tipos de películas plásticas. Cada punto representa la media de cuatro observaciones \pm error estándar. PBD: polietileno de baja densidad; PD-960: película Cryovac.

Varios autores (Alia-Tejacal *et al.*, 2005; Tian *et al.*, 2002; Cano *et al.*, 1995, Lung-Ming y Ming-Chang, 1990) han encontrado que la actividad de PFO al momento de la cosecha de los frutos es baja, alrededor de cinco días después de la cosecha se incrementa para posteriormente disminuir, generalmente la mayoría de los frutos son cosechados antes de que empiece su maduración por lo que el pico máximo de actividad enzimática se da

cercano a la madurez del fruto, en este estudio se encontró que al momento de la cosecha la actividad de la PFO fue mayor y disminuyó considerablemente a los seis días después de cosecha, esto puede deberse a que los frutos de pitahaya son cosechados en un estado avanzado de maduración.

El tiempo de almacenamiento en refrigeración no influyó significativamente ($P \leq 0.05$) en la actividad de PFO, sin embargo la actividad de la enzima si fue menor respecto a los frutos sin refrigerar. A diferencia de los frutos almacenados a temperatura ambiente y sin película plástica que no mostraron diferencias ($P \leq 0.05$), los que estuvieron almacenados en refrigeración a 5 °C y sin película fueron significativamente diferentes ($P \leq 0.05$) en la actividad enzimática de la PFO ya que tuvieron hasta tres veces mayor actividad (Cuadro 2).

En el presente estudio se encontró que la PFO disminuyó su actividad al almacenar los frutos a 5 °C y que al ser expuestos a temperatura ambiente su actividad continuó siendo baja en los frutos con película plástica, mientras que en los frutos sin película se incrementó su actividad significativamente ($P \leq 0.05$).

Mayer (1987) encontró que existe una forma latente de PFO que comúnmente se activa durante la maduración, senescencia o condiciones de estrés en las que la membrana se daña y el resultado es el incremento de la actividad de PFO, lo que puede explicar que los frutos sin película plástica sufrieron daño en la membrana celular por el almacenamiento a 5 °C, Stewart *et al.* (2001) propusieron que el incremento de la actividad de PFO después de un tratamiento de bajas temperaturas está relacionado con una nueva síntesis de PFO.

Cuadro 2. Actividad de polifenoloxidasas ($U \cdot g^{-1}$ de peso fresco) en frutos de pitahaya almacenados a 5 °C en cuatro diferentes fechas de evaluación con dos tipos de película plástica y posteriormente expuestos a temperatura ambiente hasta por 12 días.

Días en refrigeración (5 °C)	Días a 20±1 °C				
	0	3	6	9	12
8	20.05 a ^z	11.92 a	18.58 a	24.01 a	36.28 a
16	21.74 a	22.03 a	38.98 a	30.03 a	29.83 a
24	20.94 a	13.28 a	24.38 a	26.94 a	
32	20.46 a	23.23 a			
DMSH	19.25	11.58	25.17	18.77	19.21
CV (%)	88.76	63.05	90.99	68.64	67.75

Película plástica	Días a 20±1 °C				
	0	3	6	9	12
Testigo	29.28 a ^z	32.33 b	55.55 b	54.29 b	57.79 b
BD	16.20 a	5.71 a	8.81 a	16.61 a	22.04 a
PD-960	16.92 a	14.80 a	17.57 a	10.07 a	19.33 a
DMSH	15.97	9.61	25.17	18.77	28.58
CV (%)	88.76	63.05	90.99	68.64	67.75

^zValores con letras distintas dentro de columnas indican diferencias de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

PBD: polietileno de baja densidad; PD-960: película Cryovac; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

Las cubiertas semipermeables han demostrado que por lo general retardan la maduración de los frutos por la modificación de los niveles de CO₂, O₂ y etileno. Zhang y Quantick (1997) encontraron que el uso de quitosan en litchi retrasó cambios fisiológicos entre ellos la activación de la PFO a lo que propusieron que la atmósfera modificada generaba una barrera

protectora lo que reduce el suministro de oxígeno para la oxidación enzimática de fenoles. La PFO está relacionada con el oscurecimiento del tejido debido a la oxidación de compuestos fenólicos, como resultado de la pérdida de la compartimentalización entre las células cuando son expuestas a estrés físico y/o fisiológico, sin embargo, existen diferentes opiniones al respecto (Tian *et al.*, 2004).

Arellano-Gómez *et al.* (2005) encontraron una relación negativa entre la actividad de PFO y la concentración del ácido ascórbico sugiriendo que esta enzima no solo está involucrada en el oscurecimiento de los frutos sino que también interfiere en la calidad nutricional.

La POX es capaz de oxidar compuestos fenólicos y se relaciona con el deterioro de la fruta (Martínez-Tellez y LaFuente, 1997). La peroxidasa (POX) tuvo una actividad que fue en incremento con respecto al dato inicial (29.86 U·g⁻¹ de peso fresco). Hubo mayor actividad de POX en los frutos sin película plástica siendo significativa ($P \leq 0.05$) a partir del sexto día, la actividad es hasta tres veces mayor en estos frutos. La actividad de POX fue igual ($P \leq 0.05$) con los dos tipos de película plástica (Figura 4). Zhang y Quantick (1997), encontraron que la actividad de POX disminuyó al utilizar una cubierta en frutos de litchi posiblemente por la reducción de suministro de oxígeno.

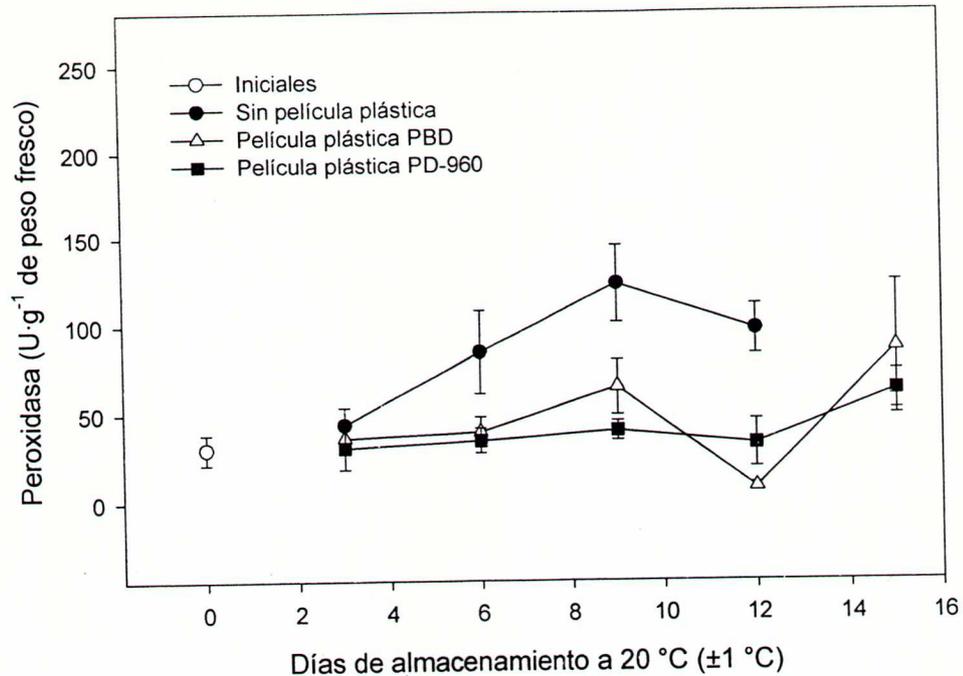


Figura 4. Actividad de peroxidasa en frutos de pitahaya almacenados a 20 ± 1 °C durante 15 días cubiertos con dos tipos de películas plásticas.

Cada punto representa la media de cuatro observaciones \pm error estándar. PBD: polietileno de baja densidad; PD-960: película Cryovac.

Cano *et al.* (1995) encontraron que los picos de máxima actividad de POX coincidían con los contenidos máximos de proteína lo cual concuerda con el presente estudio.

La POX tuvo el mismo comportamiento que la PPO, no hubo diferencias significativas en cuanto a la duración en refrigeración, sin embargo, la actividad de dicha enzima fue en aumento a mayor duración en refrigeración. La presencia de la película plástica marcó diferencias ($P \leq 0.05$) ya que en los frutos sin película la actividad enzimática fue cuatro veces mayor (Cuadro 3).

La actividad de POX en frutos almacenados en refrigeración fue en promedio 50 % menor concluyendo que las bajas temperaturas disminuyen la actividad de esta enzima pero al

generarse daños por frío se puede observar un incremento en la actividad de POX (Campa, 1991; citado por Zhou *et al.*, 2003). En plátano se observó una disminución del 30 % en fruta almacenada a 10 °C (Toraskar y Modi, 1984).

Cuadro 3. Actividad de peroxidasa ($U \cdot g^{-1}$ de peso fresco) en frutos de pitahaya almacenados a 5 °C en cuatro diferentes fechas de evaluación con dos tipos de película plástica y posteriormente expuestos a temperatura ambiente hasta por 12 días.

Días en refrigeración (5 °C)	Días a 20±1 °C				
	0	3	6	9	12
8	35.14 a ^z	48.65 a	58.61 a	74.08 a	62.41 a
16	48.34 a	39.47 a	46.46 a	39.55 a	63.99 a
24	53.10 a	84.79 b	73.51 a	78.45 a	
32	81.16 a	60.88 ab			
DMSH	50.38	34.22	33.38	40.77	20.92
CV (%)	88.73	56.14	55.36	62.86	38.60

Película plástica	Días a 20±1 °C				
	0	3	6	9	12
Testigo	86.87 b ^z	89.98 b	100.17 b	133.52 b	121.94 b
BD	22.91 a	35.86 a	32.56 a	27.27 a	33.83 a
PD-960	53.53 ab	49.50 a	45.85 a	31.29 a	33.83 a
DMSH	41.78	28.38	33.38	40.77	31.12
CV (%)	88.73	56.14	55.36	62.86	38.60

^zValores con letras distintas dentro de columnas indican diferencias de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

PBD: polietileno de baja densidad; PD-960: película Cryovac; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

Tian *et al.* (2004) encontraron que las atmósferas modificadas ayudaron a disminuir la actividad de la POX, similar a lo ocurrido en el presente estudio. Lesiewska y Kmiecik

(2000) mencionan que la POX está considerada como una de las principales enzimas que contribuyen al deterioro de algunos aspectos organolépticos y pérdida de nutrimentos en tomate, por lo que es importante que la actividad de esta enzima sea baja para conservar la fruta en buenas condiciones. Campa (1991) citado por Zhou *et al.* (2003) mencionó que el incremento en la actividad de POX ha sido observado después de exposiciones a ozono, contaminación, desórdenes nutrimentales, golpes y daños por frío, por lo que se puede concluir que las películas plásticas protegieron al fruto del frío y la actividad de POX fue baja. Ketsa y Atantee (1998) encontraron que en frutos de mangostán sin daños la actividad de la peroxidasa no cambió ocurriendo lo contrario en frutos dañados, lo cual coincidió con el presente estudio. Por lo que se puede considerar que los frutos con película plástica fueron protegidos por la misma de daños por frío.

La actividad de POX puede estar relacionada con el estrés oxidativo en los tejidos de las plantas cuando existen condiciones de estrés y hay un incremento en la actividad de esta enzima. POX puede actuar reduciendo el daño oxidativo en la fruta (Laminkara y Watson, 2001).

La actividad de catalasa (CAT) se incrementó con respecto a la inicial ($2.49 \text{ U}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso fresco) a partir del tercer día y continuó constante. Los frutos con película PBD fueron los que tuvieron menor actividad (Cuadro 4). A diferencia de peroxidasa no hubo diferencia ($P \leq 0.05$) entre tratamientos al estar almacenados en temperatura ambiente. La actividad máxima se tuvo al sexto día de almacenamiento la cual fue en promedio de $10.5 \text{ U}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso fresco para el testigo y el tratamiento con PD-960 mientras que los frutos con película PBD fue de $8 \text{ U}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso fresco.

Cuadro 4. Actividad de catalasa ($U \cdot g^{-1}$ de peso fresco) en frutos de pitahaya almacenados a $20^{\circ}C$.

Película plástica	Días				
	0	3	6	9	12
Testigo	6.97 a ^z	8.85 a	10.43 a	8.45 a	
BD	5.39 a	6.61 a	7.94 a	5.85 a	8.8 a
PD-960	8.90 a	6.11 a	10.58 a	6.51 a	6.41 a
DMSH	3.79	4.64	5.44	3.51	3.59
CV (%)	27.07	32.65	28.56	25.61	27.24

^zValores con letras distintas dentro de columnas indican diferencias de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

PBD: polietileno de baja densidad; PD-960: película Cryovac; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

Las plantas tienen varios sistemas enzimáticos para protegerse del ataque de los radicales libres. CAT ha sido de interés para su estudio debido a que es una enzima antioxidante que responde al estrés como las bajas temperaturas (Wang, 1995). La CAT usa peróxido de hidrógeno, como donador de hidrógeno y como sustrato en la descomposición catalítica del peróxido de hidrógeno para formar oxígeno y agua (Burris, 1960 citado por Wang, 1995).

En el presente estudio se encontró que a mayor tiempo de almacenamiento a $5^{\circ}C$ fue menor la actividad de CAT existiendo diferencias ($P \leq 0.05$) entre todos los tratamientos al momento de sacar los frutos de refrigeración. A los tres días de exposición a temperatura ambiente siguieron existiendo diferencias ($P \leq 0.05$), presentando menor actividad los frutos con 32 días de almacenamiento en frío (Figura 5).

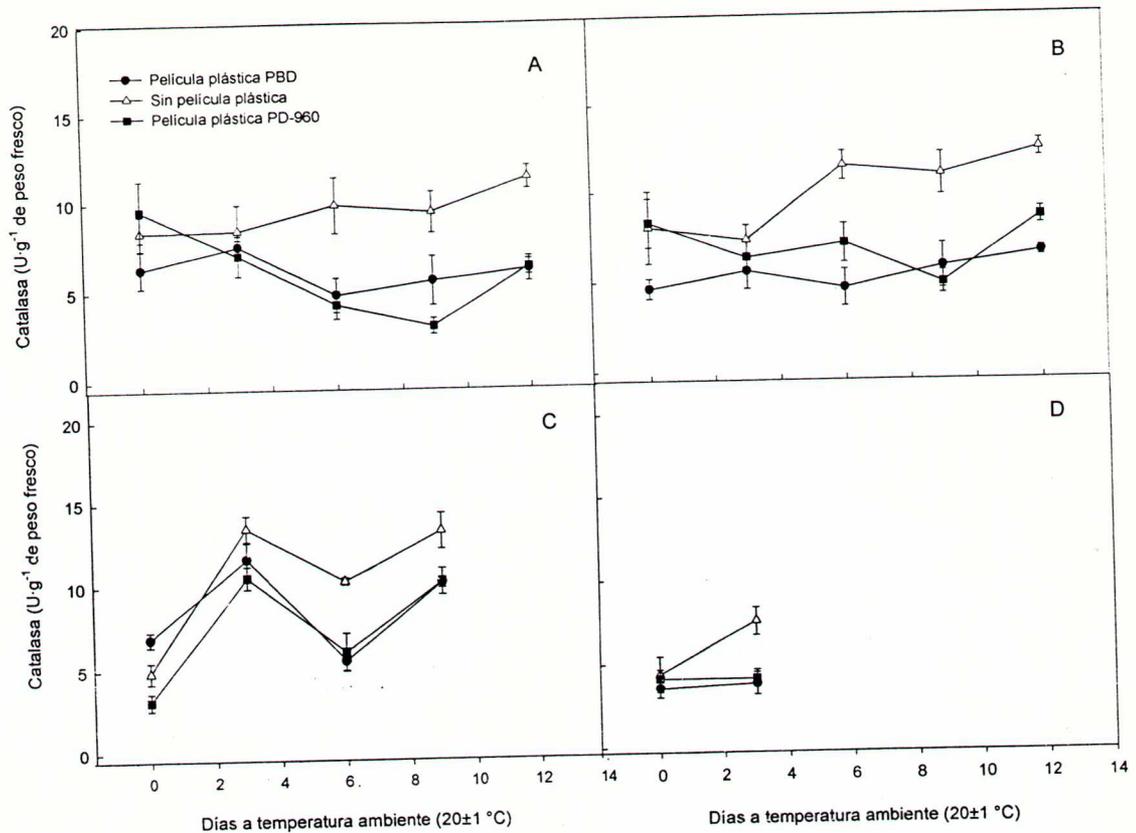


Figura 5. Actividad de catalasa en frutos pitahaya almacenados a 20 ± 1 °C después de 8 (A), 16 (B), 24 (C) y 32 (D) días de almacenamiento a 5 °C cubiertos con dos tipos de películas plásticas.

Cada punto representa la media de cuatro observaciones \pm error estándar. PBD: polietileno de baja densidad; PD-960: película Cryovac.

Se observó una tendencia a incrementar la actividad durante el tiempo de exposición a temperatura ambiente a diferencia de lo encontrado por Alia-Tejacal (2005) en zapote mamey en el que la actividad de la catalasa después de la refrigeración disminuyó respecto a la actividad que tuvieron los frutos que sin refrigeración. A mayor actividad de CAT al momento de la cosecha hubo mayor éxito en el almacenamiento en frío de manzana (Masia, 1998). El comportamiento de la actividad de la CAT después del almacenamiento en frío

dependerá del tiempo que esté almacenada la fruta y la temperatura (Lisiewska y Kmiecik, 2000). La CAT opera como un mecanismo de defensa en madarina en contra del estrés causado por temperatura baja (Sala y Lafuente, 2000), al igual que POX, CAT está considerada como un mecanismo de defensa causado ante el estrés oxidativo, hay mayor actividad de CAT en frutos tolerantes al frío (Sala, 1998). A temperaturas de congelamiento la actividad de CAT se afecta a diferencia de POX y PFO que no afectan su actividad (Gong *et al.*, 2000).

No hubo diferencias ($P \leq 0.05$) entre el tipo de películas utilizadas sin embargo si las hubo con el testigo. El testigo fue el que mostró mayor actividad de CAT siendo significativa a partir de los tres días a exposición a temperatura ambiente, siendo hasta 55 % mayor que en los frutos con película plástica (Figura 6), esto se puede deber a lo explicado anteriormente para PFO y POX, que el frío daña las membranas celulares y hubo mayor cantidad de radicales libres, por lo que hay mayor actividad de CAT. El comportamiento de la actividad de CAT (Figura 4) está muy relacionado con el de la proteína soluble (Figura 1).

En el presente estudio la actividad de la pectinmetilesterasa (PME) al momento de la cosecha fue de $91 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de metoxilo en peso fresco y al tercer día de almacenamiento disminuyó $50 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de metoxilo en peso fresco y posteriormente tuvo cambios durante el almacenamiento. Awad y Young (1980) en aguacate encontraron que la actividad de PME al momento de la cosecha es alta pero disminuyó conforme avanza la maduración. En este estudio la actividad de PME fue mayor en los frutos con película plástica PD-960, la mayor actividad se presentó a los 9 días después de la cosecha ($120 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de metoxilo en peso fresco) posteriormente la actividad baja considerablemente. El comportamiento de la PME fue similar en los frutos testigo y la película PBD y contrario a lo sucedido con la película

PD-960 la menor actividad la presentó 9 días después de la cosecha, a los 12 días se incrementa para finalmente a los 15 disminuir siendo una actividad similar para los frutos con los dos tipos de película (60 mg·g⁻¹ de metoxilo en peso fresco). Los frutos con menor fluctuación en la actividad fueron los testigo (Figura 4). La actividad de la PME con relación a la maduración de diferentes frutos, presentó un incremento, decremento o se mantuvo sin cambio, en aguacate antes del punto climatérico la actividad es muy alta pero después de este periodo la actividad disminuyó considerablemente especialmente durante la etapa de maduración (Awad y Young, 1979).

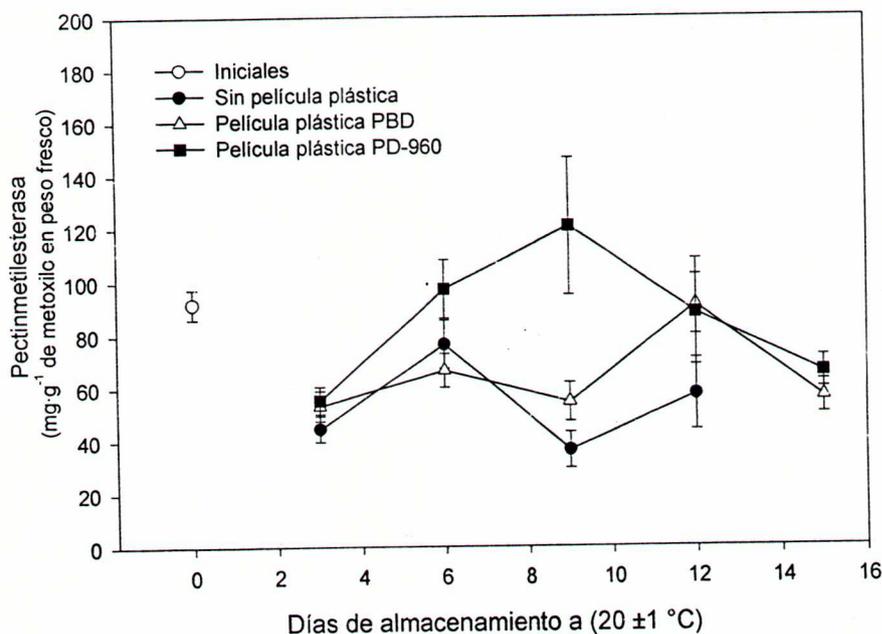


Figura 6. Actividad de peroxidasa en frutos de pitahaya almacenados a 20 ± 1 °C durante 15 días cubiertos con dos tipos de películas plásticas.

Cada punto representa la media de cuatro observaciones ± error estándar. PBD: polietileno de baja densidad; PD-960: película Cryovac.

Los días de refrigeración influyeron significativamente ($P \leq 0.05$) en la actividad de PME, teniendo mayor actividad en los frutos con 32 días de refrigeración, se observó una relación

de: mayor número de días en refrigeración - mayor actividad de PME durante el tiempo de exposición a temperatura ambiente (Cuadro 5).

Cuadro 5. Actividad de pectinmetilesterasa (mg g^{-1} de metoxilo en peso fresco) en frutos de pitahaya almacenados a 5 °C en cuatro diferentes fechas de evaluación con dos tipos de película plástica y posteriormente expuestos a temperatura ambiente hasta por 12 días.

Días en refrigeración (5 °C)	Días a 20 ± 1 °C				
	0	3	6	9	12
8	66.52b c ^z	67.38 ab	56.15 a	57.07 a	48.66 a
16	54.99 a	58.36 a	63.74 a	64.93 ab	67.72 b
24	62.24 ab	54.84 a	81.54 b	73.60 b	
32	74.26 c	74.84 b			
DMSH	10.43	16.39	16.03	15.04	12.21
CV (%)	15.51	24.61	23.57	22.77	24.47

Película plástica	Días a 20±1 °C				
	0	3	6	9	12
Testigo	70.01 b	59.86 ab	60.52 a	62.24 a	60.52 ab
BD	57.61 a	58.78 a	60.71 a	52.11 a	67.24 b
PD-960	65.88 ab	72.93 b	80.20 b	81.25 b	46.82 a
DMSH	8.65	13.59	16.03	15.04	18.17
CV (%)	15.51	24.61	23.57	22.77	24.47

^zValores con letras distintas dentro de columnas indican diferencias de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

PBD: polietileno de baja densidad; PD-960: película Cryovac; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

En aguacate la PME responde a la temperatura como una enzima soluble típica y no es sensible al etileno (Awad y Young, 1980), sin embargo, Arellano-Gómez *et al.* (2005)

encontraron una relación positiva entre la PME y el etileno en zapote negro, pero en el presente estudio no se observó dicha relación por lo que se puede deducir que la PME de la pitahaya puede ser insensible al etileno.

El tipo de película influyó significativamente ($P \leq 0.05$) en la actividad de la PME, los frutos con película PD-960, fueron los que mostraron en general mayor actividad, siendo significativa ($P \leq 0.05$) el tercero, sexto y noveno día con 72.93, 80.20 y 81.25 $U \cdot g^{-1}$ de peso fresco, respectivamente (Cuadro 5). Lazan *et al.* (1993) encontraron que las atmósferas modificadas retardan el incremento inicial de la actividad de PME durante la maduración, sin embargo, en el presente estudio no se observó dicha relación. Existen diferentes evidencias de cuando se presenta la mayor actividad de PME en la fruta encontrándose que en pera, aguacate, y mango es en estado inmaduro del fruto, y por otro lado que la máxima actividad se encuentra durante el ablandamiento de cereza, jitomate y mango africano (Assis *et al.*, 2001), se puede inferir que en pitahaya la máxima actividad de PME se encuentra en la maduración total del fruto ya que a 24 y 32 días de cosechado se presentó la mayor actividad. La PME se relaciona con algunos cambios en la textura de frutos durante la maduración, pero en este estudio no se observó que existiera una relación entre firmeza y PME coincidiendo con lo encontrado por Arellano-Gómez (2005) en frutos de zapote negro, lo cual pueda deberse a que se cree que la principal función de la PME es preparar el sustrato para la hidrólisis por poligalacturonasa (PG), ya que la pectina debe tener una desmetilización parcial antes de que la PG pueda llevar a cabo una hidrólisis significativa (Awad y Young, 1979). PG y celulasa son enzimas que se han relacionado en el decremento de la firmeza de la chirimoya (Sánchez *et al.*, 1998). En jitomate se observó que la PME controla el metabolismo del metanol y que a su vez éste regula el metabolismo del etanol durante la maduración de los frutos (Frenkel *et al.*, 1998).

CONCLUSIONES

Durante el almacenamiento de los frutos a temperatura ambiente el uso de las películas plásticas no influyó en la actividad de la PFO y CAT, y la de POX disminuyó por efecto de las películas y la PME incrementó su actividad con la película PD-960.

La actividad, teniendo un periodo de almacenamiento en frío, de POX, PPO, y CAT se mantuvo baja en los frutos con película plástica, la de PME fue similar en los tres tratamientos.

Posterior al almacenamiento en frío la actividad de las enzimas PPO, POX y CAT en los frutos sin película se incrementó en un 90, 26 y 37 % respectivamente, que cuando los frutos permanecieron a temperatura ambiente.

LITERATURA CITADA

- ALIA-TEJACAL, I.; COLINAS-LEÓN, M. T.; MARTÍNEZ-DAMIÁN, M. T.; SOTO-HERNÁNDEZ, R. M. 2002. Factores fisiológicos, bioquímicos y de calidad en frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* Jacq. H.E. Moore & Stearn) en postcosecha. Rev. Chapingo. Serie Hort. 8: 263-281
- ALIA-TEJACAL, I.; COLINAS-LEÓN, M. T.; MARTÍNEZ-DAMIÁN, M. T.; SOTO-HERNÁNDEZ, R. M. 2005. Daños por frío en zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn). II. Cambios en fenoles totales y actividad enzimática. Rev. Fit. Mex. 28: 25-32.
- AREAS, J. A.; GARCÍA, E.; LAJOLO, F.M. 1988. Effect of protein synthesis inhibitors on the climateric of banana (*Musa acuminata*). J. Food Biochem. 12: 51-60.

- ARELLANO-GÓMEZ, L. A.; SAUCEDO-VELOZ, C.; ARÉVALO-GALARZA, L. 2005. Cambios bioquímicos y fisiológicos durante la maduración de frutos de zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.). *Agrociencia* 39: 173-181.
- ASSIS, S. A.; LIMA, D. C.; FARIA-OLIVIERA, O. 2001. Activity of pectinmethylesterase, pectin content and vitamin C in acerola fruit at various stages of fruit development. *Food Chem.* 74: 13-137.
- AWAD, M.; YOUNG, R. E. 1979. Postharvest variation in cellulose, polygalacturonase, and pectinmethylesterase in avocado. (*Persea americana* Mill, cv. Fuerte) fruits in relation to respiration and ethylene production. *Plant Physiol.* 64: 306-308.
- AWAD, M.; YOUNG, R. E. 1980. Avocado pectinmethylesterase activity in relation to temperature, ethylene and ripening. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105: 638-641.
- BLACKWELL, R. D.; MURRAY, A. J. S.; LEA, P. J. 1990. Enzymes of photorespiratory carbon pathway. *In: Methods in Plant Biochemistry.* P. J. Lea (ed.). Ed. Academic Press. USA. pp. 129-144.
- BRADFORD, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72: 248-254.
- CANO, P. A.; ANCOS, B.; LOBO, G. 1995. Peroxidase and polyphenoloxidase activities in papaya during postharvest ripening and after freezing/thawing. *J. Food Sci.* 60: 815-817.
- FRENKEL, C.; PETERS, J. S.; TIEMAN, D. M.; TIZNADO, M. E.; AVTAR, H. K. 1998. Pectin methylesterase regulates methanol and ethanol accumulation in ripening tomato (*Lycopersicon esculentum*) fruit. *J. Biol. Chem.* 273: 4293-4295

- FLURKEY, W. H.; JEN, J. J. 1978. Peroxidase and polyphenol oxidase activities in developing peaches. *J. Food Sci.* 43(5): 1828-1831.
- GONG, Y.; TOIVONEN, P. M. A.; WIERSMA, P. A.; LU, C. 2000. Effect of freezing on the activity of catalasa in apple flesh tissue. *J. Agric. Food Chem.* 48: 5537-5542.
- KARAKURT, Y.; Y HUBER, D. J. 2002. Cell wall-degrading enzymes and pectin solubility and depolymerization in immature and ripe watermelon (*Citrullus lanatus*) fruit in response to exogenous ethylene. *Physiol. Plant.* 116: 398-405.
- KETSA, S.; ATANTEE, S. 1998. Phenolics, lignin, peroxidase activity and increased firmness of damaged pericarp of mangosteen fruit after impact. *Postharvest Biol. Technol.* 14: 117-124.
- LAMIKANRA, O. 1995. Enzymatic browning of Muscadine grapes products, pp. 166-177. *In: Enzymatic Browning and its Prevention.* Lee, C. L. And Whitaker J. R. (eds.) Ed. ACS. Washington D. C., USA.
- LAMINKARA, O.; WATSON, M. A. 2001. Effects of ascorbic acid on peroxidase and polyphenoloxidase activities in fresh-cut cantaloupe melon. *J. Food Sci.* 66: 1283-1286.
- LAZAN, H.; ALID, Z. M.; SELAMAT, M. K. 1993. The underlying biochemistry of the effect of modified atmosphere and storage temperature on firmness decrease in papaya. *Acta Hort.* 343: 141-147.
- LISIEWSKA, Z.; KMIĘCIK, W. 2000. Effect of storage period and temperature on the chemical composition and organoleptic quality of frozen tomato cubes. *Food Chem.* 70: 167-173.
- LUNG-MING, T.; MING-CHANG, W. 1990. Studies on the physio-chemical properties of postharvest sugar apple. *Acta Hort.* 269: 241-246

- MARTÍNEZ-TÉLLEZ, M. A.; LAFUENTE, M. T. 1997. Effect of high temperature conditioning on ethylene, phenylalanine ammonia-lyase, peroxidase and polyphenol oxidase activities in flavedo of chilled 'Fortune' mandarin fruit. *J. Plant Physiol.* 150: 674- 678.
- MASIA, A. 1998. Superoxide dismutase and catalase activities in apple fruit during ripening and post-harvest and with special reference to ethylene. *Physiol. Plant.* 104: 668-672.
- MAYER, A. M. 1987. Polyphenol oxidase and peroxidase in plants- recent progress. *Phytochemistry* 26:11-20.
- PRASAD, T. K. 1997. Role of catalase in inducing chilling tolerance in preemergent maize seedlings. *Plant Physiol.* 114: 1369-1376.
- RANNGANA, S. 1979. Manual of analysis of fruit and vegetable products. McGraw Hill Publishing Company Limited. New Delhi, India. 1-20 pp.
- REMON, S.; FERRER, A.; MARQUINA, P.; BURGOS, J.; ORIA, R. 2000. Use of modified atmospheres to prolong the postharvest life of Bulat cherries at two different degrees of ripeness. *J. Sci. Food Agri.* 80: 1545-1552.
- SALA, J. M. 1998. Involvement of oxidative stress in chilling injury in cold-stored mandarin fruits. *Postharvest Biol. Technol.* 13: 255-261.
- SALAS, J. M.; LAFUENTE, M. T. 2000. Catalase enzyme activity is related to tolerance of mandarin fruits to chilling. *Postharvest Biol. Technol.* 20: 81-89.
- SANCHEZ, J. A.; ZAMORANO, J. P.; ALIQUÉ, R. 1998. Polygalacturonase, cellulase and invertase activities during cerimoya fruit ripening. *J. Hort. Sci.* 73: 87-92.
- SANZ, C. 2005. Postharvest management beyond quality maintenance. *Acta Hort.* 682: 427-435.

- ZHANG, D.; QUANTICK, P. C. 1997. Effects of chitosan coating on enzymatic browning and decay during postharvest storage of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 12: 195-202.
- STEWART, R. J.; SAWYER, B. J. B.; BUCHELI, C. S.; ROBINSON, S. P. 2001. Polyphenol oxides is induced by chilling and wounding in pineapple. *Aust. J. Plant Physiol.* 28: 181-191.
- TIAN, S. P.; XU, Y.; GONG, Q. Q.; JIANG, A. L.; WANG, Y.; FAN, Q. 2002. Effects of controlled atmospheres on physiological properties and torability of longan fruit. *Acta Hort.* 575: 659-665.
- TIAN, S. P.; JIANG, A. L.; XU, Y.; WANG, Y. S. 2004. Responses of physiology and quality of sweet cherry fruit to different atmospheres in storage. *Food Chem.* 87: 43-49.
- TIJSKENS, L. M. M.; RODIS, P. S.; HERTOOG, M. L. A. T. M.; PEROXENIA, N.; DIJK, C. 1999. Activity of pectin methyl esterase during blanching of peaches. *J. Food Eng.* 39:167-177.
- TORASKAR, M. V.; MODI, V. V. 1984. Peroxidase and chilling injury in banana fruit. *J. Agric. Food Chem.* 32: 1352-1354.
- WAKABAYASHI, K.; CHUN, J. P.; HUBER, D. J. 2000. Extensive solubilization and depolymerization of cell wall polysaccharides during avocado (*Persea americana*) ripening involves concerted action of polygalacturonase and pectinmethylesterase. *Physiol. Plant.* 108: 345-352
- WANG, C. Y. 1982. Physiological and biochemical responses of plants to chilling injury. *HortScience* 17: 173-186.

- WANG, C. Y. 1995. Effect of temperature preconditioning on catalasa, peroxidasa, and superoxide desmutase in chilled zucchini squash. *Postharvest Biol. Technol.* 5: 67-76.
- WISE, R. R.; NAYLOR, A. W. 1987. Chilling-enhanced photooxidation. The peroxidative destruction of lipids during chilling injury to photosynthesis and ultrastructure. *Plant Physiol.* 83: 272-277.
- ZHOU, Y.; DAHLER, J. M.; UNDERHILL, S. J. R.; WILLS, R. B. H. 2003. Enzymes associated with blackhart development in pineapple fruit. *Food Chem.* 80: 565-572.

VI. CONCLUSIONES GENERALES

VI. CONCLUSIONES GENERALES

Las películas plásticas ayudaron a conservar la apariencia de los frutos evitando la deshidratación excesiva, la pérdida de peso fue significativamente menor.

Se observó un comportamiento favorable hasta el noveno día de almacenamiento en temperatura ambiente como SST, relación SST/Acidez titulable, apariencia y azúcares totales destacando los frutos con la película PBD.

A mayor duración de los frutos en refrigeración menor fue la concentración de vitamina C y la calidad visual disminuyó y al ser expuestos a temperatura ambiente el deterioro se aceleró.

La producción de etanol incrementó con el tiempo en refrigeración, el uso de películas plásticas, favoreció su producción incrementándose durante la exposición a 20 ± 1 °C independientemente del tipo de película sin influir en el sabor.

La respiración se incrementa en los frutos con película PD-960 con 8 y 24 días de almacenamiento en frío.

La actividad de las enzimas se incrementó después del almacenamiento en frío con relación a la actividad presentada en ambiente, pero la actividad de POX, PPO, y CAT fue menor en los frutos con película plástica.

En general las variables estudiadas fueron favorecidas con el uso de atmósferas modificadas y refrigeración. Sobresaliendo la menor pérdida de peso, mayor calidad visual y acidez titulable. La película PBD con 8 o 16 días almacenamiento en frío a 5 °C son la mejor combinación.