



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

RESPUESTA DE LA PITAYA (*Stenocereus pruinosus*) AL
PROCESAMIENTO MÍNIMO

T E S I S

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
AGROALIMENTARIA**

Presenta:

ING. JAIRO CARDONA VÁZQUEZ

Bajo la supervisión del:

DR. J. JOEL E. CORRALES GARCÍA



Chapingo, Estado de México a 13 de diciembre de 2017

**RESPUESTA DE LA PITAYA (*Stenocereus pruinosus*) AL
PROCESAMIENTO MÍNIMO**

Tesis realizada por el **Ing. Jairo Cardona Vázquez**, bajo la supervisión del comité asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA AGROALIMENTARIA

Director:



Dr. J. Joel E. Corrales García

Asesor:



Ph.D. Ma. Teresa Beryl Colinas León

Asesor:



Ph.D. Arturo Hernández Montes

Asesor:



Ph.D. Ma. Carmen Ybarra Moncada

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. ANTECEDENTES	3
1.2. JUSTIFICACIÓN	5
1.3. HIPÓTESIS	6
1.4. OBJETIVOS.....	6
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	6
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	6
2. REVISIÓN DE LITERATURA	8
2.1. ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL	8
2.2. IMPORTANCIA MUNDIAL	8
2.3. IMPORTANCIA NACIONAL.....	8
2.4. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	10
2.5. DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA.....	11
2.6. CULTIVAR DE ESTUDIO.....	11
2.6.1. <i>Cultivar Piel diamante</i>	12
2.6.2. <i>Cultivar La Princesa</i>	13
2.7. REPRODUCCIÓN	14
2.8. ÍNDICES DE COSECHA.....	14
2.9. COSECHA.....	14
2.10. EFECTO DE LA MADUREZ DE COSECHA.....	15
2.11. ESTRÉS POR COSECHA	16
2.12. COMERCIALIZACIÓN.....	17
2.13. MATRIZ FODA.....	17
2.13.1. <i>Debilidades</i>	17
2.13.2. <i>Amenazas</i>	18
2.13.3. <i>Fortalezas</i>	18
2.13.4. <i>Oportunidades</i>	18
2.14. USOS.....	19
2.15. COMPOSICIÓN QUÍMICA	19
2.16. PRODUCTOS MÍNIMAMENTE PROCESADOS	20
2.17. ALTERACIONES DEL CORTE EN EL PRODUCTO	21
2.18. FISIOLOGÍA DE LOS PRODUCTOS EMPACADOS	23
2.19. INFLUENCIA DEL PREENFRIAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA EN LA CALIDAD DE PROCESAMIENTO	23
2.20. OTRAS TENDENCIAS TECNOLÓGICAS DE CONSERVACIÓN	24
2.20.1. <i>Refrigeración</i>	24
2.20.2. <i>Atmósferas modificadas</i>	25
Atmósfera modificada pasiva	26
Atmósfera modificada activa	27
Ventajas y desventajas del envasado en atmósfera modificada	27

2.20.3.	Envases con microperforación.....	28
2.21.	LITERATURA CITADA.....	30
3.	CAPÍTULO 3. COMPORTAMIENTO QUÍMICO Y FISIOLÓGICO DE FRUTOS DE PITAYA MÍNIMAMENTE PROCESADOS.....	39
3.1.	INTRODUCCIÓN.....	42
3.2.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	44
3.2.1.	<i>Planeación experimental</i>	44
	Fase preliminar	44
	Delimitación de la zona de colecta	44
	Colecta.....	44
	Acondicionamiento.....	44
	Desespinado	45
	Lavado y desinfección.....	45
	Procesamiento mínimo.....	45
3.2.2.	<i>Montaje y descripción de experimentos</i>	45
3.2.3.	<i>Variables de respuesta</i>	47
	Concentración de gases (O ₂ , CO ₂ y C ₂ H ₄).....	47
	Metabolitos anaerobios (etanol y acetaldehído).....	47
	Pérdida fisiológica de peso (Pfp)	48
	Sólidos Solubles Totales (SST).....	48
	Acidez titulable	49
	pH	49
	Color	49
3.2.4.	<i>Diseño experimental</i>	50
3.3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
3.3.1.	<i>Pérdida fisiológica de peso (Pfp)</i>	51
3.3.2.	<i>Concentración de gases: dióxido de carbono (CO₂), oxígeno (O₂), etileno (C₂H₄), etanol y acetaldehído; en la atmósfera modificada pasiva</i>	53
3.3.3.	<i>Sólidos Solubles Totales (Sst)</i>	58
3.3.4.	<i>Acidez titulable (At)</i>	60
3.3.5.	<i>pH</i>	61
3.3.6.	<i>Angulo de tono</i>	62
3.3.7.	<i>Luminosidad</i>	64
3.3.8.	<i>Índice de cromaticidad</i>	65
3.3.9.	<i>Análisis de correlación canónica</i>	66
3.4.	CONCLUSIONES.....	69
3.5.	LITERATURA CITADA.....	70
4.	CAPÍTULO 4. ACEPTABILIDAD GLOBAL Y VIDA DE ANAQUEL SENSORIAL DE FRUTOS DE PITAYA MÍNIMAMENTE PROCESADOS.	73
4.1.	INTRODUCCIÓN.....	76
4.2.	MATERIALES Y MÉTODOS	80
4.2.1.	<i>Planeación experimental</i>	80
	Fase preliminar	80
	Delimitación del área de colecta	80
	Colecta.....	80
	Acondicionamiento.....	80
	Desespinado	81
	Lavado y desinfección.....	81
	Procesamiento mínimo.....	81

4.2.2.	<i>Montaje y descripción de experimentos.....</i>	81
4.2.3.	<i>Variables respuesta.....</i>	82
	Apariencia de empaque.....	82
	Aceptabilidad global de frutos mínimamente procesados y del empaque	83
	Análisis de supervivencia	84
4.3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	86
4.3.1.	<i>Aceptabilidad global.....</i>	86
4.3.2.	<i>Prueba de supervivencia.....</i>	88
4.4.	CONCLUSIONES.....	92
4.5.	LITERATURA CITADA.....	93

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Diferencias entre los frutos de las tres principales especies comerciales en México: <i>Stenocereus queretaroensis</i> , <i>Stenocereus pruinosus</i> y <i>Stenocereus stellatus</i>	10
Cuadro 2. Clasificación taxonómica de la pitaya (<i>Stenocereus pruinosus</i>).	11
Cuadro 3. Composición bromatológica, mineral y química de <i>Stenocereus pruinosus</i> (García et al., 2013; Beltrán et al., 2009; Granado, Mercado & Florencia, 1999; Luna, 2006).	20
Cuadro 4. Definición de tratamientos aplicados a frutos de pitaya mínimamente procesados.....	46
Cuadro 5. Análisis canónico de las variables fisiológicas y químicas.....	67
Cuadro 6. Definición de tratamientos aplicados a frutos de pitaya mínimamente procesados.....	82
Cuadro 7. Escala hedónica de nueve puntos.....	84
Cuadro 8. Estructuración de pruebas de supervivencia compuesta por dos temperaturas y cuatro periodos de almacenamiento.....	84
Cuadro 9. Comparación de medias de tratamientos usando el estadístico de diferencia mínima significativa (DMS). Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.....	88
Cuadro 10. Valores de bondad de ajuste por Anderson – Darling de cuatro modelos de distribución para dos temperaturas de almacenamiento de pitaya mínimamente procesada.....	89
Cuadro 11. Parámetros estimados y mediana de la distribución de Weibull para los datos censurados de aceptación/rechazo de frutos de pitaya mínimamente procesados almacenados a $4.7 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ y $3.9 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$	89

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Cultivar piel Diamante. Tallo, fruto entero y fruto en corte longitudinal. 12
- Figura 2. Cultivar La princesa. Tallo, fruto entero y fruto en corte longitudinal..... 13
- Figura 3. Pérdida de peso (%) de pitaya mínimamente procesada en refrigeración durante 7 días de almacenamiento en cuatro diferentes condiciones de almacenamiento: a) Atmósfera sin perforaciones a $3.9 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$ (—●—); b) Atmósfera sin perforaciones a $4.7 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ (---▲---); c) Atmósfera con 4 perforaciones a $3.9 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$ (---○---) y d) Atmósfera con 4 perforaciones a $4.7 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ (---△---). Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey, 0.05)..... 52
- Figura 4. Concentración de dióxido de carbono (%) de la atmósfera modificada pasivamente circundante de pitaya mínimamente procesada al término de 8, 15 y 21 días en cuatro distintas condiciones de almacenamiento: a) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a $3.9 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$ (—●—); b) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a $4.7 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ (---○---); c) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a $3.9 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$ (---▲---) y d) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a $4.7 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ (---△---)..... 54
- Figura 5. Concentración de oxígeno (%) de la atmósfera modificada pasivamente circundante de pitaya mínimamente procesada al término de 8, 15 y 21 días en cuatro distintas condiciones de almacenamiento: a) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a $3.9 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$ (—●—); b) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a $4.7 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ (---○---); c) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a $3.9 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$ (---▲---) y d) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a $4.7 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ (---△---)..... 55
- Figura 6. Concentración de etileno (%) de la atmósfera modificada pasivamente circundante de pitaya mínimamente procesada al término de 8, 15 y 21 días en cuatro distintas condiciones de almacenamiento: a) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a $3.9 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$ (—●—); b) Atmósfera modificada pasiva sin

perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (···⊙···); c) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (---▼---) y d) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (---▲---). 56

Figura 7. Contenido de metabolitos secundarios (etanol y acetaldehído) en mg por cada 100 g de fruta de pitaya mínimamente procesada al término de 8, 15 y 21 días en cuatro distintas condiciones de almacenamiento: a) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (⊙); b) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (▼); c) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (▲) y d) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (■). Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey, 0.05). 58

Figura 8. Sólidos solubles totales (%) de fruta de pitaya mínimamente procesada al término de 8, 15 y 21 días en cuatro distintas condiciones de almacenamiento: a) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (⊙); b) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (▼); c) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (▲) y d) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (■). Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey, 0.05). 59

Figura 9. Acidez titulable (%) de fruta de pitaya mínimamente procesada al término de 8, 15 y 21 días en cuatro distintas condiciones de almacenamiento: a) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (⊙); b) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (▼); c) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (▲) y d) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (■). Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey, 0.05). 61

Figura 10. pH de fruta de pitaya mínimamente procesada al término de 8, 15 y 21 días en cuatro distintas condiciones de almacenamiento: a) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (⊙); b) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (▼); c) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (▲) y d) Atmósfera modificada pasiva con 4

perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (—■—). Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey, 0.05). 62

Figura 11. Angulo de tono (°) de fruta de pitaya mínimamente procesada al término de 8, 15 y 21 días en cuatro distintas condiciones de almacenamiento: a) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (◊); b) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (-▼-); c) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (-▲-) y d) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (—■—). Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey, 0.05). 64

Figura 12. Luminosidad (%) de fruta de pitaya mínimamente procesada al término de 8, 15 y 21 días en cuatro distintas condiciones de almacenamiento: a) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (◊); b) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (-▼-); c) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (-▲-) y d) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (—■—). Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey, 0.05). 65

Figura 13. Índice de cromaticidad de fruta de pitaya mínimamente procesada al término de 8, 15 y 21 días en cuatro distintas condiciones de almacenamiento: a) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (◊); b) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (-▼-); c) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (-▲-) y d) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (—■—). Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey, 0.05). 66

Figura 14. Fracción de la estructura canónica mostrando la primera variable canónica de cada grupo y la correlación simple con sus respectivas variables originales. Químicas = Variables químicas; Hue = angulo de tono; pH = pH; At = Acidez titulable; Sst = Sólidos solubles totales; Chroma = Índice de cromaticidad; Lum = Luminosidad; Fisiológicas = Variables fisiológicas; C₂H₄ = Etileno; Acet = Acetaldehído; CO₂ = Dióxido de carbono; O₂ = Oxígeno; Etol = Etanol. 68

Figura 15. Pitaya mínimamente procesada empacada en charolas de poliestireno tipo pozolero y recubierto con polipropileno laminado 20/20 (película plástica) 83

Figura 16. Mapa de preferencia interno de seis tratamientos de temperatura y tiempo de almacenamiento de pitaya mínimamente procesada.	87
Figura 17.a. Umbral de aceptación de pitaya mínimamente procesada, almacenada a $3.9 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$	90

DEDICATORIAS

Con todo mi cariño y mi amor para ustedes, que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba. A ustedes porque han sido mi eje principal en mi formación profesional y humanística. ¡Muchas gracias Papás! Ing. Domingo Cardona Montalvo y Sra. Alma Vázquez Ramos.

A mi familia le doy gracias por la paciencia, atención, emociones, sacrificios y absolutamente todo lo que me han brindado para que pudiese llegar a la culminación de este grado profesional. Hanna, Poli y Nancy López Espiritu.

A mis adorables e insustituibles hermanos, a ustedes que han reforzado mi espíritu de entrega y dedicación durante todas las etapas de mi formación. Muchas gracias: María Ganesa, Franklin y William.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por financiar mis estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por darme la oportunidad de continuar con mi formación profesional.

Al Dr. Joel Corrales García por su dirección, disposición y apoyo en todo momento, por confiar en mí y por su valiosa amistad.

A la Ph.D. Ma. Teresa Beryl Colinas León Moreno por su dirección, orientación, apoyo, confianza y amistad otorgada.

A la Ph.D. Ma. Carmen Ybarra Moncada por sus asesorías e interminable paciencia, además de sus acertadas observaciones durante la realización y revisión del trabajo.

Al Ph.D. Arturo Hernández Montes por su orientación y sus acertadas observaciones para fortalecer esta investigación.

Al profesor Ubaldo Larios Luna y a los señores Juan Larios Luna, Modesto Larios Luna y Salomón Larios Luna, por la aportación de materia prima para desarrollar el experimento.

A la señora Esperanza por facilitarme todos los trámites en mi paso por la Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, pero sobre todo por brindarme su valiosa amistad.

A mis amigos, Oscar Fernández, Margarita Rivas, Arnulfo Botello, Eva Valdés, Melchor Negrete, Manuel Cornejo, Guadalupe Frías, José Luis Reyes, Gustavo Zacate, Adrián Paredes y Horacio Elizalde por su apoyo en material experimental y administrativo.

A mis amigos y compañeros de laboratorio: Nancy López, Diana Becerra, Sergio Méndez, Beatriz Quiroz, Prisma Espinal, Isaí Cortes, Néstor Meléndez, Dora, Arely, Alma, que compartieron sus conocimientos y tiempos para guiarme en el desarrollo del experimento.

A las personas que ayudaron en la logística de ejecución de las pruebas: Nancy López, Hanna Cardona, Ganesa Cardona, Fredy Ramírez, Johan López, Néstor de Jesús Meléndez, Isaí Cortes, Prisma Espinal, Adriana Herrero, Magdiel Pablo, entre otras.

DATOS BIOGRÁFICOS

Jairo Cardona Vázquez, nació el 12 de marzo de 1991 en Acapulco, Guerrero. Realizó sus estudios de nivel medio superior en el Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario (C.B.T.a.) número 191; en el cual obtuvo el título de Técnico Agropecuario y cédula profesional con número 6386471. Sus estudios de nivel superior los realizó en el Departamento de Ingeniería Agroindustrial en la Universidad Autónoma Chapingo titulándose como Ingeniero Agroindustrial, en diciembre de 2014, con el tema de investigación: “Desahuatado precosecha de tuna implantado a nivel comercial en Acatzingo, Pue.” Trabajó como brigadista en el proyecto forestal: Sistema biométrico forestal en 2014 – 2015.

En agosto de 2015 inició sus estudios de Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, concluyendo su programa de estudios en julio de 2017 y titulándose en el mes de diciembre.

RESUMEN

Respuesta de la pitaya (*Stenocereus prinosus*) al procesamiento mínimo.

Cardona – Vázquez, J.1; Corrales – García, J.1; Colinas – León, T.2;

Hernández - Montes, A.1; Ybarra – Moncada, M.1

Las propiedades sensoriales y químicas del fruto de pitaya lo convierten en un producto exótico y aceptado en nuevos mercados nacionales e internacionales. Su cáscara delgada y sus espinas caducas vuelven a los frutos muy sensibles a daños mecánicos y por consecuencia en un producto altamente perecedero. La aplicación de tecnologías suaves (no térmicas) han sido una buena opción en la conservación de frutas y hortalizas, el procesamiento mínimo se encarga de mantener fresco los productos. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto fisiológico y la calidad poscosecha de frutos mínimamente procesados de *Stenocereus pruinosus*, mediante la aplicación de refrigeración y microperforación. Las concentraciones de dióxido de carbono, oxígeno, etileno y metabolitos anaerobios fueron determinadas por cromatografía de gases. Adicionalmente se realizaron pruebas sensoriales para hallar el momento de rechazo de los tratamientos evaluados. Las respuestas fisiológicas y químicas no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos; los resultados sensoriales mostraron una aceptación de vida útil de 14 días.

Palabras clave: Microperforado, atmósfera pasiva, Prueba de supervivencia.

Tesis de maestría en ciencias en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Programa en Ciencias Agroalimentarias. Universidad Autónoma Chapingo. Autor: Jairo Cardona Vázquez. Director de tesis: Dr. J. Joel E. Corrales García.

ABSTRACT

Response of pitaya (*Stenocereus prinosus*) to minimal processing.

Cardona – Vázquez, J.1; Corrales – García, J.1; Colinas – León, T.2;

Hernández - Montes, A.1; Ybarra – Moncada, M.1

The sensory and chemical properties of pitaya fruit make it an exotic and accepted product in new national and international markets. Its thin skin and its deciduous spines make the fruit very sensitive to mechanical damage and consequently make it a highly perishable product. The application of soft technologies (non-thermal) has been a good option in the conservation of fruits and vegetables; the minimum processing is responsible for keeping the products fresh. The objective of the present investigation was to evaluate the physiological effect and the post-harvest quality of minimally processed fruits of *Stenocereus pruinosus*, by means of the application of refrigeration and microperforation. The concentrations of carbon dioxide, oxygen, ethylene and anaerobic metabolites were determined by gas chromatography. Additionally, sensory tests were performed to find the rejection time of the evaluated treatments. Physiological and chemical responses did not show significant differences between treatments; the sensory results showed an acceptance of useful life of 14 days.

Keywords: Microperforated, passive atmosphere, Survival test.

Tesis de maestría en ciencias en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Programa en Ciencias Agroalimentarias. Universidad Autónoma Chapingo. Autor: Jairo Cardona Vázquez. Director de tesis: Dr. J. Joel E. Corrales García.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La pitaya de mayo es una cactácea columnar originaria de México, perteneciente al género *Stenocereus*. Sus frutos son bayas poliespermáticas de forma globosa u ovoide, con espinas caducas; la pulpa puede ser de color anaranjado, rojo o púrpura, el color característico de sus frutos se debe a la presencia de betalaínas, pigmentos naturales (Luna, 2004; Casas, Caballero and Valiente, 1999).

Las frutas de *Stenocereus pruinosus* y *Stenocereus stellatus* se cosechan de manera silvestre, principalmente en los estados de Puebla y Oaxaca y así también *Stenocereus queretaroensis* se cultiva primordialmente en los estados de Jalisco, Michoacán, Guanajuato y Querétaro (Corrales, Flores, Gómez, Meraz, Rodríguez & Schwentesius, 2003). Tales especies tienen un alto potencial económico, que está ampliando su importancia a nivel internacional, principalmente por ser frutos exóticos y por sus atributos sensoriales agradables: sabor, aroma, color y textura (Corrales et al., 2003). Sin embargo, éstos son altamente perecederos (Nerd, Tel and Mizrahi, 2002; García, Valle, Salinas and Joaquín, 2013). Salcedo y Arreola (1991) reportaron que los frutos de *Stenocereus queretaroensis* son tan perecederos que se deben comercializar el mismo día en que fueron cosechados, ya que aun en refrigeración no se pueden mantener en condiciones aceptables de comercialización por más de tres días; por otro lado, los frutos de *Stenocereus pruinosus* se pueden almacenar en condiciones aceptables por 3 o 4 días a temperatura ambiente (Corrales et al., 2003).

Debido a su elevada perecibilidad poscosecha y a la limitada estacionalidad de producción, es necesario encontrar alternativas y condiciones de manejo que permitan una mayor durabilidad de este fruto, y con ello reducir las mermas ocasionadas por el deficiente manejo poscosecha y la morfología de dicho fruto (cáscara delgada y gran contenido de agua). Todo esto hace necesario el

desarrollo de tecnologías que permitan a las frutas sin espinas una comercialización apropiada y con vida útil prolongada. Una opción viable para la comercialización de pitayas es un procesamiento mínimo, una tecnología que por años ha tenido éxito con otras frutas y que, según Robles, Gorinstein, Martin, Astizarán, González & Cruz (2007) y Falguera, Quintero, Jiménez, Muñoz & Ibarz (2011), ofrece al consumidor de frutas frescas cortadas, microbiológicamente seguras, con valor nutricional y calidad sensorial similar a la de la fruta intacta.

Los productos mínimamente procesados se definen como cualquier fruta u hortaliza que han sido alterados físicamente (selección, lavado, pelado, deshuesado y/o cortado) a partir de su forma original, pero que mantienen su estado fresco y envasados en bolsas o bandejas creando una atmósfera modificada en su interior. Se conservan, distribuyen y comercializan bajo refrigeración (2 - 5 °C) y están listos para ser consumidos durante 7 a 14 días, según el producto y técnica de conservación empleada (Olivas & Barbosa, 2005; Robles et al., 2007; Bierhals, Chiumarelli & Hubinger, 2011).

Recientemente, se han desarrollado tecnologías que complementan un procesamiento mínimo; como almacenamiento en frío de productos envasados en películas o recubrimientos de plástico que son convenientemente permeable a los gases y que permiten la formación de atmósferas modificadas. Se han obtenido resultados favorables ya que este embalaje reduce la respiración, la descomposición microbiana y otros procesos que afectan a la calidad del fruto (Figueroa, Salcedo, Aguas, Olivero, & Narvaez, 2011; Kader, 2007; Rojas, Vargas, & Tamayo, 2008; Zapata, Guillén, Martínez, Valero & Serrano, 2008). Sin embargo, como se mencionó anteriormente, poca investigación se ha hecho sobre pitaya como producto mínimo procesado y hasta la fecha existe poca documentación al respecto.

1.1. Antecedentes

En una investigación previa no publicada; la vida útil de pitaya (*Stenocereus pruinosus*) se extendió a 10 días bajo refrigeración con una atmósfera modificada dinámica (Quezada & Corrales, 2003).

Así también, en pitahaya (*Hylocereus undatus*), una fruta similar, To, Ngu, Duc & Huong (2002) lograron una vida útil de hasta 35 días en refrigeración (10 °C) con atmósfera modificada en bolsas de polietileno.

Vargas, Tamayo, Centurión, Tamayo, Saucedo, & Sauri (2010) encontraron que bajo las condiciones de atmósfera modificada, las películas de polipropileno pueden conservar pitahaya mínimamente procesada por hasta 28 días.

En 2011, Pérez probó la viabilidad de *Lactobacillus casei* Shirota en una gelatina de pitaya (*Stenocereus griseus*); y observó una viabilidad del microorganismo en el orden de 10^8 UFC g⁻¹ de gelatina después de 21 días de almacenamiento.

Debido a la escasa información de pitaya como producto mínimamente procesado se realizó una búsqueda de las investigaciones con mayor pertinencia en el tema de pitaya. A continuación se mencionan dichas investigaciones.

En el año 2003, Corrales et al., publican: Pitayas y pitahayas: Producción, poscosecha, industrialización y comercialización. En tal documento se resalta la necesidad de fundamentar en diversos aspectos, como en: Descripción de variedades, mejoramiento genético, densidad de plantación, podas, fertilización, abonado, combate de plagas, combate de enfermedades y malezas, así como en las técnicas de cosecha y poscosecha, e industrialización y desarrollo de productos.

Luna (2004); Luna (2006) & Luna (2007) enfocó sus investigaciones en clasificación infraespecífica tradicional, los móviles de selección y la variación morfológica de 41 caracteres de tallo, flor y fruto en 15 variantes del género *Stenocereus*.

En el año 2009, Beltrán, Oliva, Gallardo, & Osorio determinaron el contenido fenólico y de ácido ascórbico total en cuatro variedades de frutos de pitaya (roja, cereza, amarilla y blanca). Con el fin de mantener el creciente interés en el consumo del fruto de la pitaya (*Stenocereus stellatus* R.) como alimento nutracéutico potencial.

Ochoa y Guerrero, en 2012, probaron el efecto de la luz ultravioleta en jugo de pitaya (*Stenocereus griseus*) y lograron una reducción de 2.11 ciclos logarítmicos de microorganismos mesófilos y 1.14 ciclos logarítmicos para levaduras.

García, Salinas & Valle (2012) analizaron el contenido de betalaínas totales, fenoles solubles totales y ácidos fenólicos y el poder antioxidante en dos variedades de frutos de pitaya de mayo; y concluyen que los frutos de pitaya son una alternativa para incrementar y diversificar la ingesta de antioxidantes.

Rosas, Trujillo, Valle, Salinas & García (2016) evaluaron el comportamiento poscosecha del fruto de pitaya bajo condiciones de frigoconservación (12 °C) y el efecto sobre los atributos de calidad del fruto al remover espinas durante 21 días; encontraron que la vida de anaquel se prolongó por un periodo entre 12 y 14 días. La remoción de espinas de los frutos afectó únicamente la tasa de pérdida de peso del fruto y la pérdida de luminosidad de la cáscara, resultando en una práctica recomendable.

El fruto de pitaya es un producto exótico por sus características sensoriales y nutracéuticas, pero también es altamente perecedero; lo que justifica la realización de la presente investigación para evaluar el comportamiento y respuesta de la pitaya como un producto mínimamente procesado, haciendo énfasis en respuestas fisiológicas, químicas y su aceptabilidad sensorial a través de distintos periodos de almacenamiento. Esta investigación se realizó durante la temporada de verano (mayo - junio de 2017). En la primera estacionalidad (mayo – junio de 2016) se realizaron pruebas de estandarización de metodologías y con los resultados obtenidos se realizaron los ajustes en las variables de respuesta.

La presente investigación se estructuró en cuatro capítulos, el primer y segundo capítulo abordaron la introducción general y la revisión de literatura. Mientras que el tercer capítulo abordó el comportamiento fisiológico y químico de la pitaya como producto mínimamente procesado, en el cual se evaluaron cinco variables fisiológicas del ambiente circundante y cinco variables químicas del fruto. El cuarto capítulo abarcó la determinación sensorial de la vida de anaquel del producto conservado a dos temperaturas de refrigeración (3.9 ± 0.8 °C y 4.7 ± 1.5 °C); donde se utilizaron 100 panelistas no entrenados del Departamento de Ingeniería Agroindustrial. El estudio sensorial se basó en la realización de dos pruebas de vida de anaquel a dos distintas temperaturas con tres periodos de almacenamiento (0, 8, 15 y 21 días). Adicionalmente se evaluaron, la aceptabilidad global del fruto mínimamente procesado y la aceptabilidad por el empaque.

1.2. Justificación

El cultivo de la pitaya es uno de los recursos y actividades económicas factibles de pequeños agricultores, principalmente por ser un cultivo de abundancia silvestre, por este motivo los agricultores han tenido la iniciativa de cultivar y dedicarse así a esta actividad económica. Actualmente los agricultores tienen grandes pérdidas poscosecha del fruto debido a su alta perecibilidad; por lo que resulta necesario la búsqueda de alternativas que ayuden a mantener la calidad de este fruto y ralentizar los cambios que acortan su vida útil.

Además, la pitaya es un fruto exótico con un alto potencial comercial, debido a sus excelentes atributos sensoriales, sin embargo, dado su enorme grado de perecibilidad, la falta de adecuadas prácticas de manejo poscosecha y la presencia de limitaciones tecnológicas, no ha sido posible posicionar la pitaya en el mercado y aprovechar al máximo las cualidades que posee.

1.3. Hipótesis

La pitaya, como producto mínimamente procesado, bajo temperaturas de refrigeración se conservará por un tiempo mayor al tiempo de almacenamiento sin refrigeración del producto intacto.

La película plástica y la atmósfera pasiva evitarán que se genere un ambiente de anaerobiosis, mediante un equilibrio de gases circundantes en el empaque.

El microperforado favorecerá la generación de una atmósfera pasiva y equilibrada, con el propósito de evitar generación y acumulación de metabolitos anaerobios.

La triple tecnología utilizada (refrigeración, atmósfera pasiva y microperforado) mostrará los mejores resultados de conservación de las características (físicoquímicas, fisiológicas y sensoriales) propias de un producto fresco.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el efecto fisiológico y la calidad poscosecha de frutos mínimamente procesados de *Stenocereus pruinosus*, al cabo de tres periodos de frigoconservación a dos temperaturas.

1.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar características químicas (pH, acidez titulable, sólidos solubles totales y parámetros del color) de frutos mínimamente procesados, almacenados a $3.9 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$ y $4.7 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$, por periodos de 8, 15 y 21 días.
- Evaluar la dinámica de cambios de concentración de oxígeno, dióxido de carbono y etileno dentro del empaque; al finalizar el periodo de almacenamiento.
- Evaluar el grado de anaerobiosis generado dentro de los empaques, mediante la cuantificación de metabolitos anaerobios (etanol y acetaldehído).

- Evaluar el grado de aceptación las pitayas mínimamente procesadas, mediante una prueba de aceptabilidad global.
- Evaluar vida útil de frutos mínimamente procesados mediante una prueba de supervivencia sensorial por distribución de Weibull.
- Evaluar el grado de aceptación del empaque, usando una escala hedónica de nueve puntos.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen y distribución espacial

Las cactáceas se encuentran distribuidas en todo el continente americano; son originarias de éste y muchas de estas especies son endémicas. México es el centro de concentración de cactáceas más importante, con un alto nivel de endemismo generalmente estas especies habitan en las regiones áridas y semiáridas del país (Hunt, 1992).

De acuerdo con Hunt (1992), México cuenta con 48 géneros de cactáceas y 563 especies reconocidas. Dentro de las cactáceas columnares (*Pachycereeae*), el género *Stenocereus* comprende 22 a 24 especies de pitayas; de las cuales 17 a 20 se encuentran en México.

2.2. Importancia mundial

A escala mundial, México es el único país que está explotando la pitaya para consumo humano; a nivel de plantaciones silvestres, huertos familiares y huertos comerciales. A excepción de Israel que recientemente inició trabajos de investigación en el género *Stenocereus*; no existen países competidores en el mercado mundial, ya que esta fruta sólo se conoce en las regiones productoras y consumidoras como Estados Unidos, Guatemala, Honduras y el Salvador, entre otros (Corrales et al., 2003).

2.3. Importancia nacional

Hunt (1992) reportó la existencia en México de 22 de las 23 especies del género *Stenocereus* (pitayas), de las cuales diez son objeto de recolección en las pitayeras silvestres y cinco se encontraban bajo cultivo en huertos familiares y plantaciones.

La pitaya en México se produce en una gran superficie que incluye parte de los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Zacatecas, Colima, Michoacán, Guanajuato, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz, Morelos, Guerrero, Puebla y Oaxaca. En estas áreas se producen pitayas silvestres, huertos familiares y plantaciones comerciales (Corrales et al., 2003).

Tres son las especies de mayor valor comercial, *Stenocereus queretaroensis*, la cual es cultivada en la región denominada Subcuenca de Sayula, misma que comprende los estados de Jalisco, Querétaro, Zacatecas, Guanajuato y Michoacán (Pimienta-Barrrios y Novel, 1994), seguida de *Stenocereus pruinosus* y *Stenocereus stellatus*, las cuales se encuentran en los estados de Oaxaca y Puebla, en la región denominada Mixteca Baja (Casas et al., 2006; Luna, 2007)

Los frutos de las tres especies son muy similares; la diferencia principal radica en que *Stenocereus queretaroensis* presenta dehiscencia, *Stenocereus stellatus* tiene un sabor agridulce y la forma es ligeramente más esférica que las otras (Cuadro 1).

Cuadro 1. Diferencias entre los frutos de las tres principales especies comerciales en México: *Stenocereus queretaroensis*, *Stenocereus pruinosus* y *Stenocereus stellatus*.

Característica	<i>Queretaroensis</i>	<i>pruinosus</i>	<i>stellatus</i>
Nombre técnico	Pitaya de Querétaro	Pitaya de mayo	Pitaya de agosto
Época de cosecha	Abril – junio	Abril – mayo	Agosto – Septiembre
Forma	Globosa – ovoide	Globosa – ovoide	Globosa
Peso (g)	60 – 160	150 – 400	90 – 175
Longitud (cm)	6 – 8	8 – 12	5 – 8
Sabor	Dulce	Dulce	Agridulce
Dehiscencia	Si	No	No

Fuente: Pimienta & Nobel, 2004; Luna, 2006; García et al, 2013; Campos, Pinedo, Campos & Hernández, 2011; Casas, Pickersgill, Caballero & Valiente, 1997).

2.4. Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica de la pitaya, de acuerdo con lo informado por Bravo y Sánchez (1991), se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Clasificación taxonómica de la pitaya (*Stenocereus pruinosus*).

Reino	Plantae
Subreino	Embriophyta
División	Angiospermae
Clase	Dicotyledoneae
Orden	Cariofilales
Familia	Cactaceae
Subfamilia	Cactoideae
Tribu	Pachycereeae
Genero	<i>Stenocereus</i>
Especie	<i>pruinosus</i>

Fuente: Bravo y Sánchez, 1991.

2.5. Descripción morfológica

Se trata de una planta perenne, de tipo cactácea. Puede crecer hasta nueve metros de altura y 12 centímetros de diámetro. La fruta tiene forma alargada y ovalada, y un sabor delicadamente dulce. Puede ser de color rojo o amarillo intenso. La pulpa es consistente y espumosa, de color blanco en la variedad amarilla, o blanca rojiza en la variedad roja, con espinas en la superficie y semillas pequeñas y suaves.

Por ser un cactus, es tolerante a las altas temperaturas y largos periodos de sequía, pero no a las acumulaciones de agua; por ello el suelo debe estar bien drenado. Durante la etapa de floración requiere lluvia, pero si llueve en exceso las flores se caen. Una precipitación adecuada sería de quinientos a setecientos milímetros al año (SIAP, 2015).

2.6. Cultivar de estudio

En el Valle de Tehuacán la especie *Stenocereus pruinosus* se ha clasificado de manera tradicional en seis variantes, de acuerdo con su color, el cual puede ser rojo, amarillo, naranja, morado y blanco; sin embargo, dentro de esta clasificación se tienen dos o más sub-variantes, mismas que son clasificadas tomando en

cuenta los parámetros antes mencionados, lo cual origina que en dicha zona se tengan clasificadas un total de 15 variantes (Parra, Blancas & Casas, 2012).

Dentro del Valle de Tehuacán se encuentran los municipios de Tepeyahualco y Santa Clara Huitziltepec que son sitios que tienen establecidos huertos comerciales; donde predominan dos cultivares, la princesa y piel diamante (Martínez, 2010).

2.6.1. Cultivar Piel diamante

La longitud, perímetro del tallo, así como la longitud de las espinas centrales y radiales son de tamaño intermedio. La altura de costillas es de 4.7 cm; este cultivar presenta alta distancia entre areolas en el tallo, 3.9 cm. El diámetro polar (6.5 cm) y ecuatorial (5.4 cm) del fruto, así como el peso (111.6 g) del mismo son bajos. La firmeza de la cáscara oscila entre 4.62 kg cm⁻², lo cual ocasiona una mayor vida poscosecha (de 8 a 12 días). El contenido de sólidos solubles totales en el jugo es alto (12.2 °Bx), lo que transfiere un sabor dulce agradable. Es el más cultivado en zonas de transición a climas templados secos. Su cultivo es común en Tepeyahualco de Cuauhtémoc, Santa Clara y Santa Cruz Huitziltepec y Dolores Hidalgo, Pue. Su periodo de cosecha es muy amplia de mediados de abril a principios de junio. Su nombre hace alusión a la firmeza o dureza de la cáscara. Presenta un alto potencial de rendimiento de fruto, muy apreciado para consumo en fresco y muy demandado en los mercados, incluso en el extranjero (Martínez, 2010) (Figura 1).



Figura 1. Cultivar piel Diamante. Tallo, fruto entero y fruto en corte longitudinal.

2.6.2. Cultivar La Princesa

La longitud del tallo (2.0 m) y el perímetro (39.1 cm) son altos, en cambio, la altura de las costillas es de 3.6 cm. Es uno de los cultivares con las espinas centrales y radiales en los tallos de mayor longitud, 2.6 y 1.5 cm, respectivamente; la distancia entre areolas es de 3.1 cm. El diámetro polar es de 6.3 cm y el ecuatorial es de 5.3 cm. El Índice de redondez del fruto es alto de alrededor de 0.85, en cambio el peso oscila entre 100 g y la firmeza de la cáscara entre 2.2 kg cm⁻². El porcentaje de sólidos solubles totales en el jugo es alto, de 12.7 °Bx. Es una fruta muy apreciada por su sabor agradable para consumo en fresco; su desventaja es que se daña muy fácilmente presentando menor vida poscosecha (de 3 a 4 días) por lo que se debe cosechar con especial cuidado. Se cultiva en baja escala en las localidades de Tepeyahualco, Sta. Clara Huitziltepec y Dolores Hidalgo Pue. Su nombre hace alusión a la delicadeza del fruto. Presenta un alto potencial de rendimiento (Martínez, 2010) (Figura 2).



Figura 2. Cultivar La princesa. Tallo, fruto entero y fruto en corte longitudinal.

En poblaciones silvestres el color más común en ambas especies es el rojo (95 %), sin embargo, en huertos familiares se pueden tener de cuatro a seis variantes en color (Casas et al., 2006; Parra et al., 2012).

2.7. Reproducción

La pitaya se reproduce utilizando partes de otras plantas (esquejes) o injertos. Se recomienda que cuando las partes a sembrar se hayan seleccionado, se limpien con una solución desinfectante para evitar que se contaminen con hongos al momento de sembrarlas. También deben protegerse del sol para evitar que se deshidraten. Los esquejes o vainas pueden sembrarse directamente en el campo, usando un trozo de medio metro de largo, o enraizarlas en bolsas de dos kilos, con una mezcla de tierra, arena y materia orgánica. A los cuatro o seis meses, las plantas estarán listas para ser llevadas a su campo definitivo (SIAP, 2015).

2.8. Índices de cosecha

Los índices de cosecha aún no se encuentran bien definidos; se basan principalmente en el conocimiento empírico de los productores. Se identifican tres, el más importante es cuando las espinas comienzan a desprenderse; el segundo cuando la cáscara empieza a adquirir un brillo característico, y el tercero se basa en el cambio de coloración de la cáscara, el cual varía dependiendo del tipo de cultivar (Bravo, 1978).

2.9. Cosecha

Se realiza por la mañana o en la tarde, y se utiliza un instrumento de corte llamado “chicol”, el cual consiste en una vara de carrizo de 2 a 4 m de longitud, en cuya parte terminal se coloca una canastilla con una abertura (similar a una jaula) por donde entra el fruto, que con una tensión suave se desprende del tallo. Una vez que se corta el fruto, se deposita en una cesta de carrizo, o bien en una caja de plástico (Bonilla, Martínez, Roa, Juárez & López, 2001).

Los efectos perjudiciales del estrés debido al momento de la cosecha y durante la cosecha pueden influir en la fruta, así como en la calidad del producto. Esta pérdida de calidad puede atribuirse directa o indirectamente a tensiones abióticas y a la senescencia inducida por el estrés (Lester, 2003).

Las condiciones climáticas óptimas en la cosecha e incluso en el momento del día en que se cosecha el fruto influyen en el desarrollo del sabor, la textura y el color de los productos frescos y recién cortados (Moccia, Chiesa & Frezza, 1998). El mejor momento de cosecha para un procesamiento mínimo depende de la variedad, el tipo de cultivo y los cambios en la actividad respiratoria relacionados con la temporada de cosecha (Garrido, Tudela, & Gill, 2015).

2.10. Efecto de la madurez de cosecha

La etapa de madurez de las frutas y hortalizas en la cosecha influye en el nivel de tolerancia al estrés y la calidad de los productos mínimamente procesados, especialmente si se cortan o trocean. La etapa de maduración de la cosecha adecuada para el procesamiento de corte en fresco depende entre otros factores de si el producto es climatérico o no climatérico. Por ejemplo, en hortalizas de hoja se ha demostrado que para la lechuga recién cortada se puede obtener una mejor apariencia y menor oscurecimiento en las cabezas procesadas en las etapas inmaduras, a pesar de la alta correlación de las inmaduras con la producción de olores desagradables (Tudela, Marín, Martínez, Luna, & Gill, 2013).

En frutos, la maduración contribuye a lograr altas propiedades sensoriales del producto cortado, pero puede dar como resultado una reducción de la vida útil. Ejemplo: Las rebanadas de durazno y nectarina demasiado maduras tenían una calidad sensorial preferible en el momento del corte, pero una vida útil considerablemente más corta que las rebanadas de frutas verdes (Gorny, Hess, & Kader, 1998).

Curiosamente, las frutas son en su mayoría climatéricas y, por lo tanto, los atributos de calidad deseables de sabor y color se pueden alcanzar incluso cuando se cosechan en la etapa semi-madura debido a su capacidad para continuar madurando después de la cosecha.

Es evidente que la etapa de madurez influye en el color (potencial de pardeamiento), aroma, textura y sabor del producto mínimamente procesado.

Notablemente, las frutas parcialmente maduras pueden resistir mejor la degradación de la firmeza y parecen ser más adecuadas para un procesamiento mínimo en comparación con las completamente maduras, ya que estas últimas tienen un nivel más alto de β -D-galactosidasa que conduce a un desestructuración y exudación de la pared celular relacionado con la maduración pardeamiento en algunos casos (Soliva, Alos, Espachs & Martin, 2004). A pesar de la importancia básica de la madurez fisiológica, hay mucha incertidumbre con respecto a la etapa de madurez en la que se pueden lograr los productos de corte de calidad. Es necesario identificar la etapa de madurez apropiada y las propiedades específicas del cultivar mediante las cuales las características bioquímicas, enzimáticas y fitoquímicas pueden proporcionar una materia prima con aroma, sabor, color y firmeza óptimos para ser utilizados en el procesamiento de corte en fresco (Toivonen & Brummell, 2008).

2.11. Estrés por cosecha

El estrés es la presencia de un factor externo provocado por el medio ambiente cambiante, que ejerce una influencia negativa sobre el desarrollo óptimo de la planta. Es un concepto relativo ya que una determinada situación medioambiental puede resultar estresante para una especie y no para otras.

El estrés abiótico incluye temperatura extrema, sequía, luz y malas condiciones climáticas como lluvia excesiva durante el tiempo de cosecha, mientras que la senescencia inducida por estrés puede ocurrir debido a grietas, hematomas y heridas como consecuencia del método de cosecha (manual), manipulación excesiva o el uso de contenedores de cosecha inapropiados. Esto puede conducir a una mayor respiración, producción de etileno y promover cambios en la textura, pérdida de sabor y de fitoquímicos importantes como vitamina A, C, E y polifenoles. Increíblemente, el estrés puede no siempre dar como resultado una pérdida de calidad, en algunos casos mejora la calidad de frutas y vegetales (Clarkson, O'Byrne, Rothwell & Taylor, 2003).

2.12. Comercialización

Las plantas de la pitaya en la Mixteca comienzan a producir al tercer o cuarto año de plantadas. Olvera (2001) reportó para los dos primeros años, un rendimiento de 1 t ha⁻¹; del tercer al quinto año 2 t ha⁻¹; del sexto al octavo 10 t ha⁻¹; del noveno al décimo año 15 t ha⁻¹.

De acuerdo con Martínez (2004), el 95 % de la producción de pitaya en La Mixteca Baja se comercializa en fresco y el 5 % se destina para autoconsumo. Del total que se comercializa, se estima que el 40 % se hace en la central de abastos de la Ciudad de México, el resto en los mercados regionales, como son Huajuapán de León, Huixcolotla, Tehuacán, Acatlán de Osorio, Tepeaca, Izúcar de Matamoros y Puebla.

Los motivos por lo que se comercializan bajos volúmenes de pitaya a pesar de que en México existe pitaya desde abril hasta octubre, puede deberse a que la oferta para los mercados de una región en ocasiones se reduce hasta dos o tres meses; ya que la especie preferida es la *Stenocereus pruinosus* y solo su estacionalidad abarca de mayo a junio. Así mismo la alta perecibilidad de la fruta, ocasiona que a temperatura ambiente y con el manejo rudimentario, la duración va de tres a cinco días.

2.13. Matriz FODA

La matriz FODA es una técnica que permite analizar de manera sucinta la situación de un cultivo a nivel nacional e internacional. La matriz desarrollada para la pitaya resulta en lo siguiente (Corrales *et al.*, 2003):

2.13.1. Debilidades

1. Fruta poco conocida en México y desconocida internacionalmente.
2. Alta perecibilidad de la fruta.
3. En proceso de establecimiento de huertos, con poca tecnología para su cultivo (podas, fertilización, abonado, riego, combate de plagas y enfermedades, etc.).

4. Limitados conocimientos sobre el manejo y tecnologías poscosecha, procesamiento e industrialización.
5. Métodos tradicionales de cosecha, desespinado y comercialización.
6. Demanda limitada, es sólo de parte de la población originaria y residente de las zonas de producción.
7. Poco interés de los funcionarios de las dependencias del gobierno federal (SAGARPA, SEMARNAT, SEDESOL, etc.)

2.13.2. Amenazas

1. Las investigaciones que se realizan en Israel sobre el mejoramiento del cultivo de plantas de pitaya (*Stenocereus*).
2. El desarrollo del cultivo de variedades del género *Cereus* en Brasil e Israel (en este último país se producen frutos semejantes a la pitaya, pero sin espinas).

2.13.3. Fortalezas

2. Gran número de especies de pitaya adaptadas a condiciones de prolongada sequía.
3. En algunas especies, gran número de variedades o tipos de pitaya, en cuanto a tamaño, forma, color de pulpa, sabor y vida poscosecha.
4. Conocimientos generados en muchos años por los productores sobre aprovechamiento de las áreas pitayeras silvestres y cultivo de plantas de pitaya en huertos familiares y últimamente en plantaciones.
5. Experiencia e interés de investigadores de diversas instituciones de enseñanza e investigación en trabajar con pitaya.

2.13.4. Oportunidades

1. Apertura de mercados y firma de convenios de México con diversos países.
2. Demanda creciente de frutas “exóticas” por los consumidores de países desarrollados.

3. Posibilidad de comercializar la pitaya a mercados que pagan mejores precios, como los mercados orgánicos o los mercados “justos”, cuando la fruta procede de productores campesinos o indígenas.

2.14. Usos

Los usos de *Stenocereus pruinosus* son muy variados debido a que se pueden aprovechar diversas partes de las plantas para distintos fines. Los tallos pueden ser utilizados como forraje, cercas vivas para el control de la erosión e incluso cuando éstas se secan se pueden utilizarse como combustible. Asimismo, las flores (botón floral) son comestibles.

Sin embargo, la parte más importante es el fruto, el cual se consume fresco, deshidratado, en mermeladas, yogur, paletas o nieves, bebidas alcohólicas (llamadas “colonche”); la cáscara (epidermis) de los frutos también suele usarse para alimentar a los cerdos, pollos y guajolotes (Luna y Aguirre; 2001; Casas et al., 1999).

2.15. Composición química

El componente principal es el agua, seguido del contenido de carbohidratos. En muchos estudios se ha abordado más la especie *Stenocereus pruinosus*, e incluso se tiene reportado el contenido de minerales, dentro de los cuales el más importante es el hierro (García-Cruz et al., 2013). También se ha reportado la presencia de betalaínas y compuestos fenólicos. El contenido de betalaínas oscila de 215 a 347 mg 100 g de muestra seca, y de 52 a 167 mg EAG 100 g de pulpa seca para el caso de fenoles (García-Cruz et al., 2012) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Composición bromatológica, mineral y química de *Stenocereus pruinosus* (García *et al.*, 2013; Beltrán *et al.*, 2009; Granado, Mercado & Florencia, 1999; Luna, 2006).

Componente	Valor
<i>Proximal</i>	
Agua (%)	87 – 89
Carbohidratos (%)	8.5 – 10
Proteína (%)	1.2 – 1.3
Extracto etéreo (%)	0.10 – 0.12
Fibra cruda (%)	0.53 – 0.67
Cenizas (%)	0.61 – 0.63
<i>Minerales</i>	
Fósforo (mg kg ⁻¹)	3.4 – 3.6
Potasio (mg kg ⁻¹)	1.1 – 1.2
Calcio (mg kg ⁻¹)	0.9 – 0.95
Magnesio (mg kg ⁻¹)	2.15 – 2.35
Hierro (mg kg ⁻¹)	22.8 – 27.9
Cobre (mg kg ⁻¹)	9.67 – 14.31
Zinc (mg kg ⁻¹)	7.04 – 8.77
Manganeso (mg kg ⁻¹)	4.36 – 4.61
<i>Variables químicas</i>	
Sólidos solubles totales	9.3 – 17.25
pH	5.0 – 5.5
Acidez titulable (%)	0.13 – 0.17

2.16. Productos mínimamente procesados

La fruta mínimamente procesada representa uno de los segmentos de alimentos refrigerados ligeramente tratados tienden a un crecimiento en demanda acelerado, debido al aumento de su funcionalidad. Las frutas y hortalizas recién cortadas generalmente consisten en lavadas, cortadas, tratadas con agentes desinfectantes, productos empacados, almacenadas en condiciones de

refrigeración. (McKellar, Odumeru, Zhou, Harrison, Mercer, Young, Lu, Boulter, Piyasena & Karr 2004).

Las operaciones de corte alteran la integridad de la fruta entera y aumentan su susceptibilidad a la descomposición, lo que provoca una reducción de la vida útil (Rolle & Chism, 1987; Tovar, Garcia, & Mata, 2001).

Los productos mínimamente procesados, generalmente, sufren algún tipo de corte, siendo por eso una operación esencial en el proceso de producción y que al final de cuentas, define la presentación que se desea dar al producto final. Optimizar la aceptación de un producto requiere identificar las propiedades sensoriales consideradas importantes para el consumidor (Martín & Rojas, 2005).

En el desarrollo de productos mínimamente procesados, el uso de técnicas modernas de análisis sensorial ha sido un medio seguro para caracterizar diferencias y similitudes entre productos que disputan un mismo mercado consumidor; buscando, también, optimizar atributos de apariencia, aroma, sabor y textura de los alimentos en función de expectativas del mercado consumidor.

Para el mercado institucional, se ve la necesidad de la estandarización de los cortes de productos mínimamente procesados, que dependerá de la exigencia del establecimiento y del tipo de producto final que se pretende producir para los consumidores.

2.17. Alteraciones del corte en el producto

Los diferentes cortes, en diferentes productos, tanto para el mercado al menudeo como para el institucional, pueden ser obtenidos manualmente o, mecánicamente. La mejor presentación del producto final, sin embargo, es obtenida, generalmente, por medio del corte manual, lo que puede ser observado tanto externamente (visual) como internamente (microscopía) en el procesado (Gil, Tudela, & Espín, 2005).

La vida útil de un producto mínimamente procesado es reducida, en el cual se presenta estrés en su comportamiento fisiológico de tejidos vegetales. Las

respuestas a consecuencia de los daños mecánicos provocados por el procesamiento mínimo pueden acelerar la pérdida de calidad, reducir la vida de anaquel y modificar los atributos sensoriales. Las principales alteraciones son la pérdida de integridad celular en la superficie cortada, la suberización de la pared celular y la degradación microbiológica de los tejidos. Además puede ocasionar la descompartimentación de enzimas y sus sustratos, aumento de la tasa respiratoria (TR), de la evolución de etileno (EE), de compuestos fenólicos solubles y totales y de la actividad de las enzimas fenilalanina amonio – liasa (PAL), peroxidasas (POD), catalasas (CAT) y polifenol oxidasas (PPO). (Gil, Tudela, & Espín, 2005).

Muchos factores pueden afectar la intensidad de la respuesta al procesamiento mínimo, entre los cuales pueden destacarse la especie y variedad utilizada, el estado de madurez fisiológica, la extensión de los daños mecánicos, la temperatura, el déficit de presión de vapor de agua y las concentraciones de O₂ y CO₂.

Durante el procesamiento mínimo, ocurre destrucción mecánica de parte del sistema de membranas en la superficie cortada, ocurriendo posteriormente una degradación enzimática más extensa. En tejidos vegetales, la descompartimentación celular proporciona más contacto entre los sistemas generadores de etileno y también, un incremento en su síntesis y en la actividad de la ACC sintasa, lo que culmina en la acumulación, en esos tejidos, del ácido 1 – carboxílico – 1 – amino ciclopropano (ACC), precursor del etileno. En presencia de oxígeno, este ACC puede ser rápidamente oxidado a etileno, en reacción catalizada por la enzima ACC oxidasa. El etileno producido en esos tejidos acelera la degradación de otras membranas celulares, desorganizando y destruyendo el tejido (Gil et al., 2005).

El oscurecimiento enzimático en tejidos cortados ocurre como resultado de la descompartimentación de sustratos y enzimas oxidativas, ya que somete el tejido a una mayor exposición al oxígeno. El daño por el corte y el aumento en la EE inducen incrementos en la actividad de la PAL, la cual cataliza la biosíntesis de

fenilpropanoides. El oscurecimiento ocurre cuando los productos del metabolismo de los fenilpropanoides, como los compuestos fenólicos y posiblemente otros sustratos, son oxidados en reacciones catalizadas por fenolasas, como la PPO y la POD (Gil et al., 2005).

2.18. Fisiología de los productos empacados

Las tasas de respiración cambian como consecuencia de factores previos y posteriores a la cosecha. En consecuencia, la mayoría de las veces, la permeabilidad de la película no coincide adecuadamente con la tasa de respiración del producto y el O₂ puede agotarse y el CO₂ enriquecido dentro del envase, lo que lleva a la respiración anaeróbica y, por consiguiente, a la acumulación volátil fermentativa y al desarrollo de olores desagradables (López, Peiser, Nie & Cantwell, 1997; Smyth, Sung & Cameron, 1998).

La principal limitación del envasado en atmósfera modificada para la lechuga recién cortada es la falta de control constante de la concentración de O₂ en el envase, lo que ocasiona el problema de los olores desagradables. Se ha informado que varios compuestos volátiles contribuyen a los malos olores después de cortar la lechuga, como alcoholes, aldehídos, terpenos, ésteres y ácidos cítricos (Belitz, Grosch & Schieberle, 2004; Lonchamp, Barry & Devereux, 2009).

2.19. Influencia del preenfriamiento de la materia prima en la calidad de procesamiento

La eliminación del calor del campo contribuye a reducir la respiración y las actividades fisiológicas que pueden acelerar la senescencia durante las operaciones de manipulación posteriores al procesamiento. Los productos enfriados a las mejores temperaturas recomendadas mantienen una vida útil óptima. Idealmente, se han recomendado temperaturas cercanas a 0 °C para un óptimo período de conservación de las verduras de hoja (Cantwell, Roveló, Nie, & Rubatzky, 1996; Koukounaras, Siomos & Sfakiotakis, 2007) mientras que para

las frutas y hortalizas de fruto, se debe considerar la sensibilidad al enfriamiento (Sargent, 1998).

Se pueden aplicar diferentes métodos de preenfriamiento a los productos frescos de la industria, como el enfriamiento del cuarto, el enfriamiento con aire forzado, el enfriamiento hidráulico, el enfriamiento al vacío, el empaquetamiento de hielo y el glaseado superior. Sin embargo, la idoneidad para una fruta o verdura específica y la calidad de su producto cortado están típicamente incrustados en el tipo de sistema de enfriamiento y la temporada de cosecha. (Sargent, 1998) Por el contrario, en duraznos comerciales maduros "Redhaven", el tratamiento de enfriamiento tardío dio como resultado frutos con una textura harinosa menos perceptible, un exprimidor y un mayor sabor a durazno en comparación con el aire forzado o las frutas enfriadas pasivamente.

2.20. Otras tendencias tecnológicas de conservación

A lo largo del tiempo, se han empleado diferentes técnicas para extender la vida de anaquel de los productos mínimamente procesados entre las que se encuentran la refrigeración, el envasado en atmósferas modificadas, el uso de aditivos químicos y de cubiertas comestibles (Artés, Gómez & Artés, 2007; García & Barrett, 2002; Oms, Rojas, Alandes, Varela, Soliva, Hernando, Pérez, Fiszman, & Martín, 2010; Rojas, Oms, Soliva, & Martín, 2009). El envasado en películas poliméricas con permeabilidad selectiva a CO₂, O₂ y vapor de agua, que genera una atmósfera modificada, es ampliamente utilizado en condiciones de refrigeración durante la comercialización de las frutas y hortalizas mínimamente procesadas (Artés et. al., 2007; Brecht, 1995).

2.20.1. Refrigeración

El almacenamiento en frío es el principal método para frenar el deterioro de los productos en términos de percepción del consumidor y el valor nutricional (Zhang, Ding, Xu, Wang, Qin & Tian, 2009; Cantín, Crisosto, Ogundwin, Gradziel, Torrents, & Moreno, 2010). Sin embargo, aunque las temperaturas bajas retardan la senescencia, se ha señalado que los frutos de algunas especies de origen

tropical y subtropical son notablemente sensibles al frío, por lo que la temperatura de almacenamiento puede causar daños, deteriorar el tejido y disminuir el valor comercial (Alia, Saucedo, Martínez, & Colinas, 2000; Wismer, 2003).

2.20.2. Atmósferas modificadas

La composición normal del aire es: oxígeno 21 %, nitrógeno 78 % y dióxido de carbono, 0.03 %. La modificación de la atmósfera en el interior del envase, por reducción del contenido de oxígeno, mientras que se incrementan las concentraciones de dióxido de carbono y nitrógeno, ha mostrado que prolonga significativamente la vida útil de los alimentos perecederos conservados a temperaturas de refrigeración (Parry, 1993).

La técnica de conservación en atmósfera modificada (AM) consiste en empacar los productos alimenticios en materiales con barrera a la difusión de los gases, en los cuales el ambiente gaseoso ha sido o será modificado para disminuir el grado de respiración, reducir el crecimiento microbiano y retrasar el deterioro enzimático con el propósito de alargar la vida útil del producto (Drake, Elfving, Drake, & Visser, 2004).

La composición de la atmósfera del espacio de cabeza, en un envase de atmósfera modificada, puede obtenerse por dos métodos fundamentales; reemplazando mecánicamente el aire con un gas o mezcla de gases, o generando la atmósfera dentro del envase de forma pasiva como en el caso de frutas y hortalizas, o activamente empleando modificadores de atmósfera adecuados, como los absorbedores de oxígeno.

El diseño de una atmósfera modificada (AM) puede darse de dos formas, de forma pasiva por el propio producto o de forma activa. El diseño de una atmósfera ya sea pasiva o activa implica la especificación de las permeabilidades a los gases, dimensión, espesor y el área requerida de la película de envasado, además de la masa del producto, la capacidad de absorción y la temperatura (Charles, Sánchez, & Gontard, 2005).

Atmósfera modificada pasiva

Después de que las frutas y hortalizas se cosechan estos continúan con sus procesos metabólicos, consumen oxígeno (O_2) y producen dióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua, la modificación de la atmósfera alrededor del producto se lleva pasivamente por efecto de la respiración y permeabilidad de la película (Ospina & Cartagena, 2008).

Kader (2002) señala que una AM pasiva, se da cuando la permeabilidad al gas de la película plástica seleccionada permite el paso de O_2 al envase a una velocidad compensada por el consumo de O_2 por el producto. De igual manera, se descarga el CO_2 del envase para compensar la producción de CO_2 por el producto.

La concentración de oxígeno y dióxido de carbono dentro de un envase de atmósfera modificada pasiva, depende de la tasa de respiración del producto y permeabilidad de la película, que afecta la tasa de intercambio de gases a través de la película (Ares, Parentelli, Gámbaro, Lareo, & Lema, 2006). En esta modalidad se induce un estado estacionario pasivamente establecido después de un periodo transitorio largo (Charles, Guillaume, & Gontard, 2008).

Las frutas y hortalizas continúan respirando después del corte, consumen oxígeno y producen dióxido de carbono y vapor de agua. Si las características de respiración de la fruta pueden equilibrarse exactamente a la permeabilidad de la película plástica empleada para el envase; en el interior del envase se podrá crear, de forma pasiva, una atmósfera modificada favorable, cuando se establece la concentración de equilibrio de oxígeno y dióxido de carbono. Las atmósferas modificadas de equilibrio (AMdE), conteniendo 2 - 5 % de oxígeno y 3 – 8 % de dióxido de carbono, han mostrado actuar retrasando la maduración y el reblandecimiento de frutas y hortalizas, así como reduciendo la degradación de la clorofila, las podredumbres microbiológicas y los pardeamientos enzimáticos.

Atmósfera modificada activa

Dentro de las AM se habla de atmósferas controladas activas, que son aquellas en las que antes de colocar el envase se modifica la proporción entre CO₂, O₂, y N (Maroto, 2008). En la modificación activa, el espacio libre del empaque se rellena con una mezcla de concentración conocida de oxígeno, dióxido de carbono y nitrógeno (Ulloa, 2007).

Kader (2002) menciona que la AM activa se puede hacer creando un ligero vacío y reemplazando la atmósfera del envase con la mezcla de gases deseada, esta mezcla puede ser ajustada posteriormente por medio del uso de sustancias absorbentes o adsorbentes colocadas en el envase, así se asegura el establecimiento rápido de la atmósfera deseada.

Ventajas y desventajas del envasado en atmósfera modificada

- a) El rápido crecimiento del mercado para los productos envasados en atmósfera modificada indica los beneficios que han comprobado fabricantes, detallistas y consumidores. Las ventajas del envasado en atmósfera modificada son:
- b) El incremento de la vida útil permite abastecer las estanterías de venta con menor frecuencia.
- c) Reducción de desechos a nivel de detallista.
- d) Mejor presentación, clara visión del producto y visibilidad en todo el entorno.
- e) Permite el apilado higiénico de los envases, cerrados y libres de goteo y olor del producto.
- f) Fácil separación de los productos.
- g) Poca o ninguna necesidad de conservantes químicos.
- h) Incremento de la zona de distribución y reducción de los costos de transporte, debido a la menor frecuencia de reparto.
- i) Reducción en los costos de producción y almacenamiento, debido a la mejor utilización del trabajo, espacio y equipos.

Los inconvenientes o desventajas del envasado en atmósfera modificada son:

- a) Inversión en maquinaria de envasado con gas.
- b) Costo de los gases y materiales de envasado.
- c) Inversiones en equipo analítico para garantizar el empleo de las mezclas de gas adecuadas.
- d) Gastos en los sistemas para asegurar la calidad, para evitar la distribución de envases con perforaciones, etc.
- e) El incremento en el volumen de los paquetes, que podría afectar adversamente a los costos de transporte y al espacio necesario en la distribución al por menor.
- f) Posibilidad de crecimiento de patógenos sobre los alimentos, debido a los excesos de temperatura ocurridos en la distribución y comercialización.
- g) Los beneficios del envasado en atmósfera modificada se pierden cuando se perfora o se abre el envase.

2.20.3. Envases con microperforación

Un Atmósfera modificada usa recipientes plásticos como envase, donde mediante la acción combinada de la respiración y la permeabilidad gaseosa a través del polímero, el O₂ se reduce y el CO₂ se incrementa, lo que causa alteración de diversos procesos fisiológicos y alarga la vida de anaquel (Mangaraj, Goswami, & Mahajan, 2009). Un problema frecuente en esta técnica es la falta de control de la permeabilidad a gases del envase, lo que puede causar reducción excesiva de O₂ y alta concentración de CO₂, con riesgo de inducir metabolismo fermentativo, cuyos productos, acetaldehído y etanol, pueden dañar el material conservado e inducir malos olores y sabores (Rojas et al., 2009).

Zapata y Segura (1996) mencionan que los films microperforados abarcan una amplia gama de permeabilidades que oscilan entre 6,000 y 120,000 mL de O₂ y CO₂ m⁻² * 24 h a 25°C, mientras tanto, Brody Zhuang & Han (2010) indican que los agujeros utilizados en los empaques varían desde aquellos visibles a la vista hasta aquellos con 150 µm de diámetro o menos, los cuales se realizan comúnmente mediante un láser.

La utilización del microperforado ha permitido reducir las grandes modificaciones de la atmósfera interna que se producían con los polímeros empleados tradicionalmente, además modifican el flujo de gases a través del envase, aumentando o disminuyendo en función del número de perforaciones, lo que permite en gran medida disponer de la permeabilidad más adecuada a las necesidades (Zapata y Segura, 1996).

2.21. Literatura citada

Alia, T. I., Saucedo, V. C., Martínez, D. M.T., Colinas, L. M.T. (2000). Temperaturas de almacenamiento y maduración en frutos de mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn). *Rev. Chapingo serie Horticultura* 6, 73-78.

Ares, G., Parentelli, C., Gámbaro, A. Lareo, C. y Lema P. (2006). Sensory shelf life of shiitake mushrooms stored under passive modified atmosphere. *Postharvest Biology and Technology* (41):191-197.

Artés, F., Gómez, P.A., Artés, H. F. (2007). Physical, physiological and microbial deterioration of minimally fresh processed fruits and vegetables. *Food Sci. Tech. Int.* 13 (3): 177- 188.

Belitz, H.D., Grosch, W., Schieberle, P. (2004). *Food Chemistry*, third ed. Springer, Berlin.

Beltrán, O. M. C., Oliva, C. T. G., Gallardo, V. T., Osorio, R. G. (2009). Ascorbic acid, phenolic content, and antioxidant capacity of red, cherry, yellow and white types of pitaya cactus fruit (*Stenocereus stellatus* Riccobono). *Agrociencia* 43: 153-161.

Bierhals, V.; Chiumarelli, M.; Hubinger, M. 2011. Effect of cassava starch coating on quality and shelf life of fresh-cut pineapple (*Ananas Comosus* L. Merril cv "Perola"). *Journal of Food Science* 76(1): 62-72.

Bonilla, B. J.J., Martínez, G. J. C., Roa D. R., Juárez P. C. y López, M. A. (2001). Informe final del proyecto 4538. Estudio del potencial y perspectivas de la fruticultura de caducifolios y cactáceas. SAGARPA-INIFAP-CIRCE-CETECA. s/p.

Bravo, H. H. (1978). *Las cactáceas de México*, vol. I. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 743 p.

Bravo, H. H. y Sánchez, M. (1991). *Las cactáceas de México*. Vol. III. Tercera edición. UNAM. México. D.F. 643 p.

- Brecht, J. K. (1995). Physiology of lightly processed fruits and vegetables. HortSci. 30 (1): 18-21.
- Brody A., Zhuang H. y Han J. (2010). Modified Atmosphere Packaging for Fresh-Cut Fruits and vegetables. Ed. WILEY-BLACKWELL. 18-19.
- Campos, R. E., Pinedo, E. J. M., Campos, M. R. G., Hernández, F. A. D. (2011). Evaluación de plantas de pitaya (*Stenocereus spp*) de poblaciones naturales de Monte Escobedo, Zacatecas. Revista Chapingo Serie Horticultura 17(3): 173-182.
- Cantín, C.M., Crisosto, C.H., Ogundiwin, E.A., Gradziel, T., Torrents, J. and Moreno, M.A. (2010). Chilling injury susceptibility in an intra-specific peach [*Prunus persica* (L.) Batsch] progeny. Postharvest Biol. Technol. 58, 79-87.
- Cantwell, M., Rovelto, J., Nie, X. and Rubatzky, V. (1996). Specialty salad greens: postharvest physiology and shelf – life. In III International symposium Diversification of Vegetable Crops. 467: 371 378.
- Casas, A., Caballero, J. and Valiente-Banuet, A. (1999). Use, management and domestication of columnar cacti in south-central México: a historical perspective. Journal of Ethnobiology. 19 (1):71-95
- Casas, A., Cruse, S. J., Morales, E., Otero, A. A., and Valiente, B. A. (2006). Maintenance of phenotypic and genotypic diversity in managed populations of *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) by indigenous peoples in central Mexico. Biodiversity and Conservation. 15: 879-898.
- Casas, A., Pickersgill, B., Caballero, J. & Valiente, B. A. (1997). Ethnobotany and domestication in xoconochtli, *Stenocereus stellatus* (Cactaceae), in Tehuacán Valley and La Mixteca Baja, México. Economic Botany. 51 (3):279-292.
- Catalá, R., Almenar, E. y Gavara, R. (2007). Innovaciones y tendencias en el envasado de frutas y hortalizas. Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos. 1: 1540 – 1547.

Charles, F., Guillaume, C. y Gontard N. (2008). Effect of passive and active modified atmosphere packaging on quality changes of fresh endives. Ed. Postharvest Biology and Technology (48) : 22-29.

Charles, F., Sánchez, J. y Gontard N. (2005). Modeling of Active Modified Atmosphere Packaging of Endives Exposed to Several Postharvest Temperatures. Ed. Journal of food Sciences (70) Nr. 8.

Clarkson, G. J. J., O'Byrne, E. E., Rothwell, S. D., Taylor, G. (2003). Identifying traits to improve postharvest processability in baby leaf salad. Postharvest Biol Technol 30: 287 – 298.

Corrales, G. J., Flores, V. C. A., Gómez, C. M. A., Meraz, A. M. R., Rodríguez, C. A., Schwentesius, R. R. (2003). Pitayas y Pitahayas. Universidad Autónoma Chapingo. Pag. 110-120

Drake, S. R., Elfving, D. C., Drake, S. L. and Visser, D. B. (2004). Quality of modified atmosphere packaged 'bartlett' pears as influenced by time and type of storage. Journal of Food Processing and Preservation. 28: 348-358

Falguera, V., Quintero, P., Jiménez, A., Muñoz, J.A. and Ibarz, A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active function and trends in their use. Trends in Food Science & Technology 22: 292-303.

Figueroa, J., Salcedo, J., Aguas, Y., Olivero, R. y Narvaez, G. (2011) Recubrimientos comestibles en la conservación del mango y aguacate, y perspectiva, al uso del propóleo en su formulación. Revista Colombiana en Ciencia Animal 3: 386-400.

Garcia, E. and Barrett, D.M. (2002). Preservative treatments for fresh-cut fruits and vegetables. Cap. 9. En: Fresh-cut Fruits and Vegetables: Science, Technology, and Market. O Lamikanra (Ed). CRC Press, Boca Raton, Florida. pp: 267-303.

García, C. L., Salinas, M. Y. y Valle, G. S. (2012). Betalaínas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en pitaya de mayo (*Stenocereus griseus* H.). Rev. Fitotec. Mex. 35 (1): 1-5.

García, C. L., Valle, G. S., Salinas, M. Y. and Joaquín, C. E. (2013). Physical, chemical, and antioxidant activity characterization of pitaya (*Stenocereus pruinosus*) fruits. Plant Foods for Human Nutrition 68 (4): 403-410.

Garrido, Y., Tudela, J. A. and Gil, M. I. (2015). Time of day at harvest and delay to processing affect the quality of minimally processed baby spinach. Postharvest Biol Technol. 110: 9 -17.

Gil, M. I., Tudela, J. A. & Espín J. C. (2005). Pardeamiento. En González, A. G. A., Gardea, A. A. & Cuamea, N. F. Nuevas tendencias de conservación de productos vegetales frescos cortados. (pp. 155 – 170). Guadalajara, Jalisco, México: Editorial Logiprint Digital.

Gorny, J. R., Hess, P. B. and Kader, A. A. (1998). Effects of fruit ripeness and storage temperature on the deterioration rate of fresh-cut peach and nectarine slices. HortSci 33: 110-113.

Granado, S. D., Mercado, A. y Florencia, G. (1999). Las pitayas de México. Ciencia y Desarrollo. 145(25):59-67.

Hunt, D. (1992). CITES cactaceae checklist. Royal Botanic Gardens, Kew. Surrey. Pág. 190.

Kader A. A. (2002). Postharvest Technology of Horticultural Crops. 3a edición. Ed. University of California. Estados Unidos de América. Pp. 142-143.

Kader, A.A., (2007). Biología y tecnología postcosecha: un panorama. Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas. UC PEER REVIEWED. Davis, CA.

Koukounaras, A., Siomos, A. S. and Sfakiotakis, E. (2007). Postharvest CO₂ and ethylene production and quality of rocket (*Eruca sativa* Mill.) leaves as affected by leaf age and storage temperature. Postharvest Biol Technol. 46: 167-173.

Lester, G. E. (2003). Oxidative stress affecting fruit senescence. In: Hodges DM Postharvest Oxidative Stress in Horticultural Crops. The Haworth Press Inc Binghamton New York pp. 113 – 129.

Lonchamp, J., Barry-Ryan, C., Devereux, M. (2009). Identification of volatile quality markers of ready-to-use lettuce and cabbage. Food Res. Int. 42, 1077–1086.

López-Galvez, G., Peiser, G., Nie, G.X., Cantwell, M. (1997). Quality changes in packaged salad products during storage. Z. Lebensm. Unters. Forsch. 205, 64–72.

Luna, M. C. Del C. (2004). Recolección, cultivo y domesticación de cactáceas columnares en la Mixteca Baja, México. Revista Chapingo, serie horticultura. 10(2):95-102

Luna, M. C. C. (2006). Clasificación y ordenación morfológica del fruto de variantes cultivadas de pitaya (*Stenocereus pruinosus* (Otto) Buxb.) en la mixteca baja de México. Rev. Chapingo. Serie Horticultura. 12(2): 245-251.

Luna, M., C. C. (2007). Ordenación y clasificación morfológica del fruto de cultivares mixtecos de pitaya (*Stenocereus pruinosus*) en México. Agrociencia. 11(2): 10 – 16.

Mangaraj, S., Goswami, T. K. and P. V. Mahajan (2009) Applications of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables: a review. Food Engineering Reviews 1:133–158.

Maroto J.V. (2008). Elementos de horticultura general. 3era edición. Ed. Grupo Mundi-Prensa. Madrid, España. Pp 464.

Martín, B. O. & Rojas, G. M. A. (2005). Factores que afectan la calidad. En González, A. G. A., Gardea, A. A. & Cuamea, N. F. Nuevas tendencias de conservación de productos vegetales frescos cortados. (pp. 77 – 90). Guadalajara, Jalisco, México: Editorial Logiprint Digital.

Martinez, G. J. C. (2010). Principales cultivares de Pitaya en Puebla y Oaxaca. INIFAP. 1 -23

McKellar, R. C., Odumeru, J., Zhou, T., Harrison, A., Mercer, D. G., Young, J. C., Lu, X., Boulter, J., Piyasena, P., & Karr, S. (2004). Influence of a commercial warm chlorinated water treatment and packaging on the shelf-life of ready-to-use lettuce. *Food Research International*, 37, 343–354.

Moccia, S., Chiesa, A. and Frezza, D. (1998). Time of day at harvest effect on postharvest lettuce quality. *Agr Trop Subtrop*. 31: 83 – 86.

Nerd, A., Tel, Z. N. and Mizrahi, Y. (2002). Fruits of vine and columnar cacti. En: P. S. Nobel (ed) *Cacti. Biology and uses*. University of California Press. Berkeley, L. A., London. 185 – 197.

Ochoa, V. C. E. and Guerrero, B. J. A. (2012). Ultraviolet-C Light Effect on Pitaya (*Stenocereus griseus*) Juice. *Journal of Food Research*. 1: 60 – 70

Olivas, G. and Barbosa, C. G. (2005). Edible coatings for fresh-cut fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 45: 657–670.

Olvera, M. J. A. (2001). La pitaya (*Stenocereus griseus* y *Stenocereus stellatus*) una alternativa productiva en la Mixteca Baja Oaxaqueña. Tesis profesional. División de Ciencias Económicas Administrativas. Universidad Autónoma Chapingo. Pág. 86.

Oms, O. G., Rojas, G. A., Alandes, L., Varela, P., Soliva, F. R., Hernando, M.I., Pérez, I., Fiszman, S. and Martín, B. O. (2010). Recent approaches using chemicals treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: A review. *Postharv. Biol. Technol.* 57:139-148.

Ortiz, H.Y.D. (1999). Pitahaya: a New Crop for México. Ed. Limusa-Grupo Noriega Editores. México, D.F. 124 p.

Ospina, M. S. M. y Cartagena, V. J. R. (2008). La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos. Ed. Corporación Universitaria Lasallista. Antioquia, Colombia. P 40.

- Parra F., Blancas J. J. and Casas, A. 2012. Landscape management and domestication of *Stenocereus pruinosus* (cactaceae) in Tehuacan Valley: human guided selection and gene flow. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. 8:32.
- Parry, R. T. (1993)/ Envasado de los alimentos en atmósfera modificada. A. Madrid Vicente Ediciones. Pág. 15 -31
- Pérez, L. M. C. L. (2011). Estudio de la viabilidad de *Lactobacillus casei* Shirota en una gelatina de pitaya (*Stenocereus griseus*). Instituto Politécnico Nacional. Tesis de Maestría en Ciencias en Alimentos. Pag. 62 - 74
- Pimienta, B. E. and Nobel P. S. (1994). Pitaya (*Stenocereus spp*, Cactaceae): an ancient and modern fruit crop of Mexico. *Economic Botany* 48(1):76-83.
- Piña, L. I. (1977) Pitayas y otras cactáceas afines del estado de Oaxaca. *Cac. Suc. Méx.* 22. 1: 3 -13.
- Robles, S. M., Gorinstein, S., Martin, B. O., Astizarán, G. H., González, A. G. and Cruz, V. R. (2007). Frutos tropicales mínimamente procesados: Potencial antioxidante y su impacto en la salud. *Interciencia* 32: 227-232.
- Rojas, Á.M.R., Vargas, V.L. y Tamayo, C.J.A. (2008). Sandía mínimamente procesada conservada en atmósferas modificadas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 9: 153-161.
- Rojas, G. M.A., Oms, O. G., Soliva, F. R. and Martín, B. O. (2009). The use of packaging techniques to maintain freshness in fresh-cut fruits and vegetables. A review. *Int. J. Food Sci. Technol.* 44: 875- 889.
- Rolle, R. S. and Chism, G. W. (1987). Physiological consequences of minimally processed fruits and vegetables. *Journal of Food Quality*, 10: 157–177.
- Rosas, B. A., Trujillo, C. L., Valle, G. S., Salinas, M. Y. and Garcia, C. L. (2016). Quality attributes of pitaya (*Stenocereus pruinosus*) fruit handled in postharvest with and without thorns under refrigerated storage. *Revista Chapingo, serie horticultura.* 22 (3): 191 -207

Salcedo P. E. y Arreola R. H. (1991). El cultivo de pitaya en Techaluta . Cac. Suc. Mex. 36 (4): 84 -90.

Sargent, S. A. (1998). Handling and Cooling Techniques for Maintaining Postharvest Quality. Vegetable Production Guide for Florida. Gainesville: University of Florida.

SIAP, Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2015. Anuario Estadístico de la producción Agrícola. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx>. Fecha de consulta: 10/11/2015.

Smyth, A.B., Sung, J., Cameron, A. (1998). Modified-atmosphere packaged cut iceberg lettuce: effect of temperature and O₂ partial pressure on respiration and quality. J. Agric. Food Chem. 46, 4556–4562.

Soliva, F. R.C., Alos, S. N., Espachs, B. A. and Martin, B. O. (2004). Influence of maturity at processing on quality attributes of fresh – cut Conference pears. J Food Sci 69: 290 -294.

To, L.V., Ngu, N., Duc, N.D. and Huong, H.T.T. (2002). Dragon fruit quality and storage life: Effect of harvest time, use of plant growth regulators and modified atmosphere packaging. Acta Horticulturae 575: 611-621.

Toivonen, P. M. A. and Brummell, D. A. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh – cut fruit and vegetables. Postharvest Biol Technol 48: 1 – 14.

Tovar, B., Garcia, H. S. and Mata, M. (2001). Physiology of pre-cut mango. II. Evolution of organic acids. Food Research International, 34, 705–714.

Tudela, J. A., Marín, A., Martínez, S. A., Luna, M. C., Gill, M. I. (2013). Preharvest and postharvest factors related to off – odours of fresh – cut iceberg lettuce. Postharvest Biol Technol 86: 463 – 471.

Ulloa J.A. (2007). Frutas auto estabilizadas en el envase por la tecnología de obstáculos. Ed. Universidad Autónoma de Nayarit. México. Pp 56.

Vargas, V.L., Tamayo, C.J., Centurión, Y.A., Tamayo, C.E., Saucedo, V.C. y Sauri, D.E. (2010). Vida útil de pitahaya (*Hylocereus undatus*) mínimamente procesada. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha 11: 154-161.

Wismer, W.V., (2003). Low temperature as a causative agent of oxidative stress in postharvest crops. pp. 55-68. In: HODGES M., D. (ed). Postharvest Oxidative Stress in Horticultural Crops. Food Products Press. New York.

Zapata, P.J., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Valero, S. and Serrano, M. (2008). Use of alginate or zein as edible coatings to delay postharvest ripening process and to maintain tomato (*Solanum lycopersicon* Mill) quality. Journal of Science of Food and Agriculture 88: 1287-1293.

Zapata M. Y Segura P. (1996). Nuevas tecnologías de conservación de frutas y hortalizas: Atmosferas modificadas. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. Pp 71-72.

Zhang, C., Ding, Z., Xu, X., Wang, Q., Qin, G., Tian, S. (2009). Crucial roles of membrane stability and its related proteins in the tolerance of peach fruit to chilling injury. Amino Acids. 39, 181-194.

3. CAPÍTULO 3. COMPORTAMIENTO QUÍMICO Y FISIOLÓGICO DE FRUTOS DE PITAYA MÍNIMAMENTE PROCESADOS.

RESUMEN

Comportamiento químico y fisiológico de frutos de pitaya mínimamente procesados.

Cardona – Vázquez, J.; Corrales – García, J.; Colinas – León, T.; Hernández - Montes, A.; Ybarra – Moncada, M.

El comportamiento químico y fisiológico de la pitaya mínimamente procesada se evaluó bajo dos temperaturas (3.9 ± 0.8 °C y 4.7 ± 1.5 °C), tres tiempos de frigoconservación (8, 15 y 21 días) y dos niveles (0 y 4) de microperforación en los envases; teniendo un testigo (pitaya recién procesada mínimamente). En frutos se midió pérdida de peso, pH, acidez titulable, sólidos solubles totales, color y metabolitos anaerobios; y en la atmósfera modificada pasivamente en el interior de los envases se midieron las concentraciones de dióxido de carbono, oxígeno y etileno. Los resultados muestran que sin importar el nivel de microperforado, la película plástica (polipropileno laminado 20/20) mantuvo un ambiente aeróbico dentro del empaque. La temperatura baja ocasionó una mayor velocidad de pérdida de peso; mientras que las variables químicas no se vieron afectadas por efecto de ningún factor. La vida útil de las pitayas mínimamente procesadas osciló entre 8 y 15 días, bajo las condiciones evaluadas.

Palabras claves: *Stenocereus pruinosus*, microperforado, atmosfera pasiva, anaerobiosis.

Tesis de maestría en ciencias en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Programa en Ciencias Agroalimentarias. Universidad Autónoma Chapingo. Autor: Jairo Cardona Vázquez. Director de tesis: Dr. J. Joel E. Corrales García.

ABSTRACT

Chemical and physiological behavior of minimally processed pitaya fruits.

Cardona – Vázquez, J.; Corrales – García, J.; Colinas – León, T.; Hernández - Montes, A.; Ybarra – Moncada, M.

The chemical and physiological behavior of the minimally processed pitaya was evaluated under two temperatures (3.9 ± 0.8 ° C and 4.7 ± 1.5 ° C), three times of frigoconservation (8, 15 and 21 days) and two levels (0 and 4) of microperforation in the containers; having a witness (pitaya recently processed minimally). In fruits, weight loss, pH, titratable acidity, total soluble solids, color and anaerobic metabolites were measured; and in the passively modified atmosphere inside the containers the concentrations of carbon dioxide, oxygen and ethylene were measured. The results show that regardless of the level of microperforation, the plastic film (laminated polypropylene 20/20) maintained an aerobic environment inside the packaging. The low temperature caused a greater speed of weight loss; while the chemical variables were not affected by the effect of any factor. The useful life of the minimally processed pitayas ranged between 8 and 15 days, under the conditions evaluated.

Keywords: *Stenocereus pruinosus*, microperforated, passive atmosphere, anaerobiosis.

Tesis de maestría en ciencias en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Programa en Ciencias Agroalimentarias. Universidad Autónoma Chapingo. Autor: Jairo Cardona Vázquez. Director de tesis: Dr. J. Joel E. Corrales García.

3.1. Introducción

Todos los productos de origen vegetal mantienen procesos metabólicos después del corte. La fotosíntesis se reduce y prácticamente se detiene en ese tiempo, pero los procesos de respiración siguen activos. Como resultado, los carbohidratos, que constituyen la reserva energética del producto, se convierten en CO₂, agua y energía, así como otros componentes menores, usando el oxígeno necesario del aire circundante; el agua formada en el proceso se torna parte del producto y el CO₂ y el calor se difunde a la atmósfera. Cuando no existe suficiente oxígeno disponible, se forman otros subproductos como alcoholes, aldehídos y cetonas que imparten mal sabor al alimento, pudiendo dañar los tejidos celulares. (Catalá, Lagarón, & Gavara, 2005).

Debido al rápido deterioro, los productos hortofrutícolas frescos son muy perecederos, por lo que un envasado adecuado es esencial para mantener la calidad durante su transporte y comercialización. Actualmente se dispone de envases de diferentes materiales y características adecuadas para las diversas demandas que plantea la comercialización de productos hortofrutícolas frescos.

El fruto de *Stenocereus pruinosus* es una baya poliespermatíca ovalada, de pulpa con alto contenido de betalaínas por su color característico. (Rosas, Trujillo, Valle, Salinas & García, 2016). Tiene grandes espinas que le dan una protección natural, tales dan un aspecto intimidatorio que afecta negativamente la comercialización de esta fruta, por lo que es recomendable quitar las espinas como parte del manejo poscosecha para una comercialización exitosa; sin embargo, la eliminación de las espinas, aumenta marcadamente su perecebilidad (Nerd, Tel & Mizrahi, 2002). Todo esto hace necesario el desarrollo de tecnologías para aumentar la aceptación del producto fresco y así permitir la comercialización, con una vida útil más larga. Una opción para comercializar pitayas exitosamente es el procesamiento mínimo, una tecnología que durante años ha tenido éxito con otras frutas y que, según Robles, Gorinstein, Martín, Astiazarán, González, & Cruz (2007) y Falguera, Quintero, Jiménez, Muñoz, & Ibarz (2011), ofrece al consumidor fruta recién cortada que es

microbiológicamente segura con un valor nutricional y una calidad sensorial que es casi igual a la de la fruta intacta.

Los vegetales mínimamente procesados son definidos como cualquier fruta u hortaliza que ha sido alterada físicamente (selección, lavado, pelado, deshuesado y/o cortado) a partir de su forma original, pero que mantiene su estado fresco, sin procesamiento riguroso, tratados con agentes desinfectantes, estabilizadores de color, retenedores de firmeza y envasados en bolsas o bandejas creando una atmósfera modificada en su interior. Son conservados, distribuidos y comercializados bajo refrigeración (2 - 5 °C) y están listos para ser consumidos durante 7 a 14 días, según el producto y técnica de conservación empleada (Olivas & Barbosa, 2005; Robles-Sánchez et al., 2007; Bierhals, Chiumarelli & Hubinger, 2011). Sin embargo, los alimentos mínimamente procesados, al incluir operaciones que alteran la integridad del tejido del producto, pueden inducir a un estrés deteriorativo.

La demanda por alimentos frescos y mínimamente procesados está incrementando rápidamente, principalmente, porque los consumidores buscan la frescura y facilidad que estos productos le brindan. Lo que ha generado una demanda creciente de alimentos conservados por tecnologías emergentes que están siendo estudiadas e introducidas ampliamente. El desarrollo de tecnologías suaves no térmicas y efectivas, o su combinación, permiten ofrecer al consumidor frutas mínimamente procesadas o frescas cortadas, microbiológicamente seguras, con valor nutricional y características sensoriales lo más cercanos al producto intacto (Robles-Sánchez et al., 2007; Alothman, Bhat, & Karim, 2009; Pan y Zu, 2012).

Los objetivos de esta investigación fue evaluar características químicas (pH, acidez titulable, sólidos solubles totales y parámetros del color); evaluar la dinámica de cambios de concentración de oxígeno, dióxido de carbono y etileno; y evaluar el grado de anaerobiosis mediante la cuantificación de metabolitos anaerobios (etanol y acetaldehído).

3.2. Materiales y Métodos

3.2.1. Planeación experimental

Fase preliminar

En el primer ciclo productivo de la pitaya (mayo, 2016) se realizaron ensayos de las metodologías, y los resultados obtenidos ayudaron al replanteamiento y ajustes de variables de respuesta, así como la incorporación de un nuevo factor de estudio (microperforación).

Delimitación de la zona de colecta

Los frutos de pitaya se colectaron en la comunidad de Dolores Hidalgo, en el municipio de Santa Clara Huitziltepec, Pue ($18^{\circ}75'58''\text{N}$ y $97^{\circ}86'13''$; 1940 msnm), en las parcelas de los productores Modesto, Juan y Salomón Larios Luna.

Colecta

Las pitayas se cosecharon cuidadosamente y de acuerdo con las técnicas usuales de la región productora, tomando en cuenta como condición fisiológica la madurez de corte, que ocurre cuando las espinas se desprenden con facilidad y la cáscara adquiere brillo.

Los frutos, homogéneos en tamaño y madurez comercial, sin defectos, recién colectados y con espinas se empacaron en cajas de cartón y fueron recubiertos con tela algodonosa (huata), con el objetivo de reducir los daños mecánicos originados por punción entre las espinas de otros frutos.

Acondicionamiento

El traslado terrestre del material vegetal se realizó en una camioneta con aire acondicionado, cuya temperatura fue de 20 ± 2.0 °C durante 3.5 horas. Al llegar al laboratorio, inmediatamente, los frutos se colocaron en una cámara frigorífica a temperatura de 10 ± 3.0 °C donde permanecieron por 12 horas, con el propósito de eliminar calor de campo.

Desespinado

Una vez transcurrido el periodo de enfriamiento; se realizó cuidadosamente la remoción de espinas, usando guantes de carnaza gruesos, mediante frotación suave, así éstas se desprendieron fácilmente, para evitar daño en cáscara.

Lavado y desinfección

Las pitayas se lavaron con agua potable con el propósito de eliminar tierra, residuos de espinas o material extraño, después se colocaron en una charola de plástico para escurrir el exceso de agua.

La desinfección del fruto se realizó por inmersión, se usó una solución clorada (pH = 6.8 y 18 °C) a una concentración de 250 ppm de hipoclorito de sodio comercial (Cloralex) con un tiempo de contacto de alrededor de 5 min (Dong, Wrolstad & Sugar, 2000; Gorny, Cifuentes, Hess & Kader, 2000). Posteriormente se volvió a realizar el escurrido de agua.

Procesamiento mínimo

Una vez que los frutos se escurrieron, se llevó a cabo el procesamiento mínimo, que consistió básicamente en una operación de pelado (remoción de la cáscara), usando un cuchillo afilado se realizó una incisión en la parte apical y distal del fruto y otra incisión longitudinal, tales cortes facilitaron el desprendimiento de la cáscara de la pulpa del fruto. Esta última operación fue un punto crítico de control; por lo cual se aplicaron las medidas de higiene (uso de bata limpia, cofia, guantes quirúrgicos y cubrebocas) y sanitización de los utensilios (cuchillos y charolas) y de la zona de trabajo (una mesa de plástico y una cámara frigorífica a 7 ± 1.5 °C), para reducir los riesgos de contaminación cruzada.

3.2.2. Montaje y descripción de experimentos

Se evaluaron dos niveles de temperatura (3.9 ± 0.8 °C y 4.7 ± 1.5 °C), tres niveles de periodo de almacenamiento (8, 15 y 21 días) y dos niveles de atmosfera modificada pasivamente (con 0 y 4 microperforaciones) (Cuadro 4).

Las pitayas peladas enteras se colocaron en charolas de poliestireno y fueron recubiertas con polipropileno laminado de 20/20 micrómetros de espesor para su almacenamiento. Se evaluó un testigo, el cual consistió en pitaya mínimamente procesada fresca (sin frigoconservación).

Para el almacenamiento en refrigeración se utilizaron dos cámaras frigoríficas del Departamento de Ingeniería Agroindustrial. El microperforado se realizó manualmente con agujas de acupuntura de 212 micrómetros de diámetro.

Cuadro 4. Definición de tratamientos aplicados a frutos de pitaya mínimamente procesados.

Tratamiento	Temperatura (°C)	Almacenamiento (días)	Número de perforaciones
A	3.9 ± 0.8 C	8	0
B	3.9 ± 0.8 C	15	0
C	3.9 ± 0.8 C	21	0
D	4.7 ± 1.5 C	8	0
E	4.7 ± 1.5 C	15	0
F	4.7 ± 1.5 C	21	0
G	3.9 ± 0.8 C	8	4
H	3.9 ± 0.8 C	15	4
I	3.9 ± 0.8 C	21	4
J	4.7 ± 1.5 C	8	4
K	4.7 ± 1.5 C	15	4
L	4.7 ± 1.5 C	21	4
Testigo	-----	-----	-----

3.2.3. Variables de respuesta

Al término de cada tratamiento se determinó la concentración de gases: dióxido de carbono (CO_2), oxígeno (O_2) y etileno (C_2H_4) en la atmósfera modificada pasivamente

Concentración de gases (O_2 , CO_2 y C_2H_4)

Al finalizar el periodo muestral (8, 15 y 21 días) se tomaron 5 mL de muestra gaseosa del espacio de cabeza con una jeringa de 10 mL y esta muestra se inyectó en vacutainers de plástico al vacío de tapón rojo con activador de coagulación. Enseguida se guardaron los vacutainers en un congelador a -20°C hasta su determinación en cromatografía de gases. Para la determinación, se tomó 1 mL de muestra gaseosa del vacutainer con una jeringa (1 mL) y ésta se inyectó en un cromatógrafo de gases Agilent Technologies -7890B® con detectores de conductividad térmica (TCD) y de ionización de flama (FID). La columna se utilizó a 100°C , el detector FID se utilizó a una temperatura de 150°C y con flujos de aire, H_2 y N_2 de 400, 25 y 25 mL min^{-1} , respectivamente. El TCD se utilizó a una temperatura de 180°C con un flujo de N_2 de 25 mL min^{-1} . El tiempo de retención para identificar CO_2 fue de 2.039 min, para O_2 fue de 1.89 min y para el de C_2H_4 de 2.28 min.

Con estándares comerciales (INFRA®, México) se hicieron curvas de calibración para obtener las concentraciones de O_2 , CO_2 y C_2H_4 en las muestras analizadas.

Metabolitos anaerobios (etanol y acetaldehído)

Estas variables se midieron mediante cromatografía de gases con la técnica de espacio de cabeza propuesta por Davis y Chase (1969). Con un sacabocados de 1 cm de diámetro se tomó una muestra de pulpa de los frutos (5 g) y se introdujo en un vial de vidrio de 25 mL, éste inmediatamente se selló con tapón de hule y retapa de aluminio y enseguida se congeló con nitrógeno (N_2) líquido, luego se mantuvo en congelación a -20°C hasta el momento de su determinación. Para hacer la cuantificación, las muestras congeladas se incubaron en baño maría a 60°C durante 10 min para provocar la volatilización total de los compuestos de

interés (etanol y acetaldehído). Luego se homogeneizó por 1 min y se tomó una muestra gaseosa del espacio de cabeza del vial con una jeringa de vidrio y con seguro para evitar la fuga de la muestra (1 mL) y se inyectó a un cromatógrafo de gases Agilent Technologies -7890B® con detectores de conductividad térmica (TCD) y de ionización de flama (FID). La columna se utilizó a 160 °C, el detector FID se utilizó a una temperatura de 300 °C y con flujos de aire, H₂ y N₂ de 400, 25 y 25 mL min⁻¹, respectivamente. El TCD se utilizó a una temperatura de 220 °C con un flujo de N₂ de 25 mL min⁻¹. El tiempo de retención para identificar acetaldehído fue de 2.54 min y el de etanol de 3.48 min. Se realizó una curva para obtener las concentraciones de etanol y acetaldehído en las muestras analizadas, con estándares comerciales de etanol y acetaldehído (J.T. Baker®, México), los valores registrados se reportaron en mg 100 g⁻¹ producto.

Pérdida fisiológica de peso (Pfp)

Los frutos fueron pesados al inicio del experimento y durante 10 días de almacenamiento en una balanza digital (Ohaus, USA). La pérdida de peso se expresó en porcentaje y fue estimada mediante diferencias de peso al paso de los días del almacenamiento (ecuación 1)

$$\% Pfp = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100 \quad \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

P_i = Peso inicial

P_f = Peso final

Sólidos Solubles Totales (SST)

Los SST se determinaron con un refractómetro electrónico, marca ATAGO®, modelo pocket (EUA), con una escala de 0 a 32 %, a 20 °C. Los resultados se expresaron como porcentaje de sólidos solubles totales.

Acidez titulable

Esta variable se evaluó mediante la titulación de jugo de la pulpa, con una solución de NaOH 0.099 N. Debido a que el color del jugo es rojo, se estimó el punto estequiométrico usando un potenciómetro marca Hanna instruments (HI 98240 portable microprocessor) a un pH de 8.2 (viralidad de fenolftaleína) para estimar la acidez en porcentaje se obtuvo con la ecuación 2:

$$\% \text{ácido} = \frac{\text{gasto (NaOH)} * \text{Normalidad} * \text{meq} * \text{vm} * 100}{\text{peso muestra} * \text{alícuota}} \dots\dots\dots(2)$$

Debido a que no se tiene documentado el ácido predominante en jugo de pitaya, los cálculos se realizaron con los miliequivalentes del ácido cítrico.

Donde:

Gasto (NaOH): mL de NaOH gastados en la titulación.

N: normalidad de NaOH (0.1 N)

Meq: miliequivalentes del ácido principal (0.1921)

Peso muestra: fruta utilizada en gramos.

Vm: Volumen de la muestra en mL.

pH

Esta variable se determinó usando un potenciómetro Hanna instruments (HI 98240 portable microprocessor), los resultados se estimaron de manera directa del aparato.

Color

Se determinó con un colorímetro Hunter Lab (Mini Scan XE Plus 45/0-L, USA) en escala CieLab (L^* , a^* , b^*). Con los valores de a^* y b^* se calculó ángulo de tono (Hue) y el índice de saturación del color (Chroma), en tanto que L^* se tomó como

luminosidad (Sant'Anna, Gurak, Ferreira, & Tessaro, 2013). Estas variables se determinaron en pulpa.

Las ecuaciones empleadas fueron las siguientes:

1) Ángulo de tono, se calculó mediante la ecuación 3:

$$\text{ángulo de tono} = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \dots\dots\dots(3)$$

2) Índice de saturación, se obtuvo a partir de la ecuación 4:

$$\text{chroma} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \dots\dots\dots (4)$$

3.2.4. Diseño experimental

Se usó un diseño completamente al azar con submuestras, cuya expresión matemática esta expresada en la ecuación 5:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} + \delta_{ijk} \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

y_{ijk} : Variable respuesta

μ : Media general

τ_i : Tratamientos

ε_{ij} : Error experimental

δ_{ijk} : Error de muestreo

Se realizó un análisis de varianza y después de una prueba positiva, se realizó una prueba de comparación de medias con el estadístico de Tukey a un $\alpha = 0.05$. Adicionalmente se utilizó un análisis de correlación canónica.

3.3. Resultados y discusión

3.3.1. Pérdida fisiológica de peso (Pfp)

Los resultados de pérdida fisiológica de peso (Figura 3) son satisfactorios a los objetivos esperados, ya que la pérdida de peso numéricamente fue mínima y se logró la conservación de la calidad física de la pitaya mínimamente procesada.

Durante los 7 días, los frutos frigoconservados a 3.9 ± 0.8 °C en atmósfera modificada pasiva y con 4 microperforaciones presentaron la mayor tasa de pérdida de peso de 0.20%. Mientras que los tratamientos almacenados en atmósfera sin perforaciones tuvieron una tasa de pérdida de peso de 0.13 %. Las cuatro microperforaciones ocasionaron un valor superior de pérdida de peso entre los tratamientos almacenados a la misma temperatura. Y los frutos conservados a temperatura de 4.7 ± 1.5 °C presentaron la menor tasa de velocidad de pérdida de peso, que osciló entre 0.04 – 0.05 %. (Figura 3). Dichos resultados tuvieron un comportamiento contrario a lo referido en la teoría de déficit de vapor de agua: “a menor temperatura menor déficit de vapor”. (Castellan, 1998)

Dentro de un producto empacado, la permeabilidad del empaque y la temperatura de conservación son los factores que mayor incide en la pérdida de peso, y las pitayas mínimamente procesadas fueron afectadas pronunciadamente los primeros dos días de almacenamiento (Figura 3); en los días posteriores, la tasa de pérdida de peso fue mínima y con tendencia constante.

La tasa de pérdida de peso de la pitaya mínimamente procesada fue mínima (0.5 – 3.8 %) en comparación con lo sucedido en pitahaya, que durante los primeros seis días de almacenamiento alcanzó un máximo de 8.37 %, bajo condiciones normales de temperatura (Magaña, B. W., Sauri, D. E., Corrales, G. J. & Saucedo, V. C.; 2013). Lamúa (2000) señaló que la pérdida de peso de las frutas está asociada a la pérdida de agua. En este sentido una de las principales causas de la pérdida de peso de las frutas está relacionada con el déficit de presión de vapor entre la superficie del producto y la atmósfera circundante en la que se encuentra,

debido a que se establece un gradiente de vapor de agua que finalmente conlleva a la pérdida de peso (Wachiyara, 2006). Lumúa (2000) señala que, en la mayoría de las especies vegetales, una pérdida de peso superior al intervalo entre 6 y 8 % produce una alteración irreversible de la calidad sensorial incidiendo en su calidad comercial. Tal hecho en esta investigación no ocurrió, ya que los niveles de pérdida de peso alcanzados fueron mínimos ($< 3.8\%$), y por lo tanto no repercutieron en la calidad visual del producto a lo largo de los siete días evaluados.

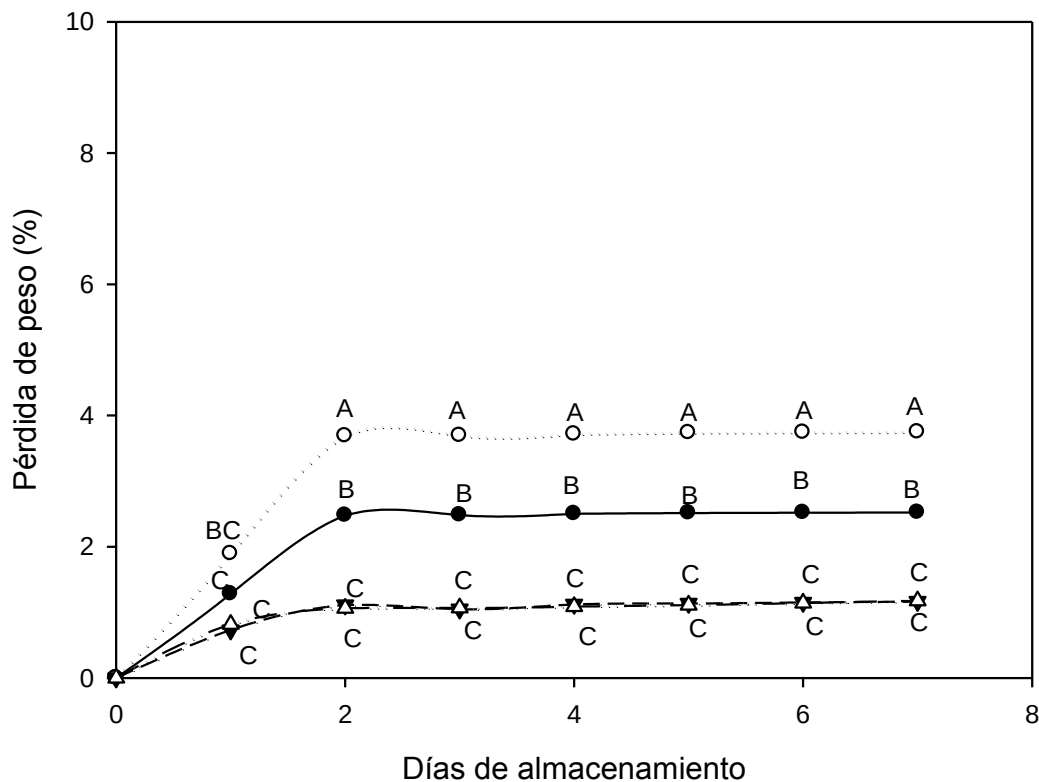


Figura 3. Pérdida de peso (%) de pitaya mínimamente procesada en refrigeración durante 7 días de almacenamiento en cuatro diferentes condiciones de almacenamiento: a) Atmósfera sin perforaciones a $3.9 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$ (—●—); b) Atmósfera sin perforaciones a $4.7 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ (---○---); c) Atmósfera con 4 perforaciones a $3.9 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$ (·····○·····) y d) Atmósfera con 4 perforaciones a $4.7 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ (-△-). Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey, 0.05).

3.3.2. Concentración de gases: dióxido de carbono (CO₂), oxígeno (O₂), etileno (C₂H₄), etanol y acetaldehído; en la atmósfera modificada pasiva

Si aumenta la concentración de O₂, aumenta la velocidad de respiración y existirá pérdida de nutrientes, en cambio si disminuye el oxígeno (1 - 5 %) se reduce la tasa de respiración y consecuentemente, aumenta la vida de anaquel del producto. Por otro lado, la respiración anaerobia genera productos de fermentación, etanol y acetaldehído (Rodríguez, Rivera & González, 2005; Zhuang, Barth & Fan, 2011)

La concentración de gases dentro de los empaques dependió de la tasa respiratoria de la pitaya mínimamente procesada y de la permeabilidad a gases de la película plástica usada. Y los resultados fueron coherentes con las hipótesis planteadas, para cada uno de los tratamientos, en relación al comportamiento gaseoso de la atmósfera pasiva circundante de cada condición de empaquetado.

En relación al CO₂, durante los primeros 8 días, los tratamientos compuestos por dos niveles de microperforado (0 y 4 microperforaciones) y dos niveles de temperatura (3.9 ± 0.8 °C y 4.7 ± 1.5 °C) acumularon en la atmósfera circundante del empaque alrededor de 1.5 – 2.5 % de CO₂. Posterior a los 8 días de almacenamiento, los tratamientos sin perforaciones incrementaron elevadamente la acumulación de CO₂, finalizando en una concentración de 7 % a finalizar los 21 días de almacenamiento. Mientras que los empaques perforados acumularon aproximadamente un 3.3% al finalizar el periodo de almacenamiento (Figura 4).

Para que exista un ambiente de anaerobiosis la acumulación de CO₂ debe ser superior a 8 %; por lo tanto se puede decir que los tratamientos evaluados con y sin perforaciones, no generan un ambiente anaeróbico.

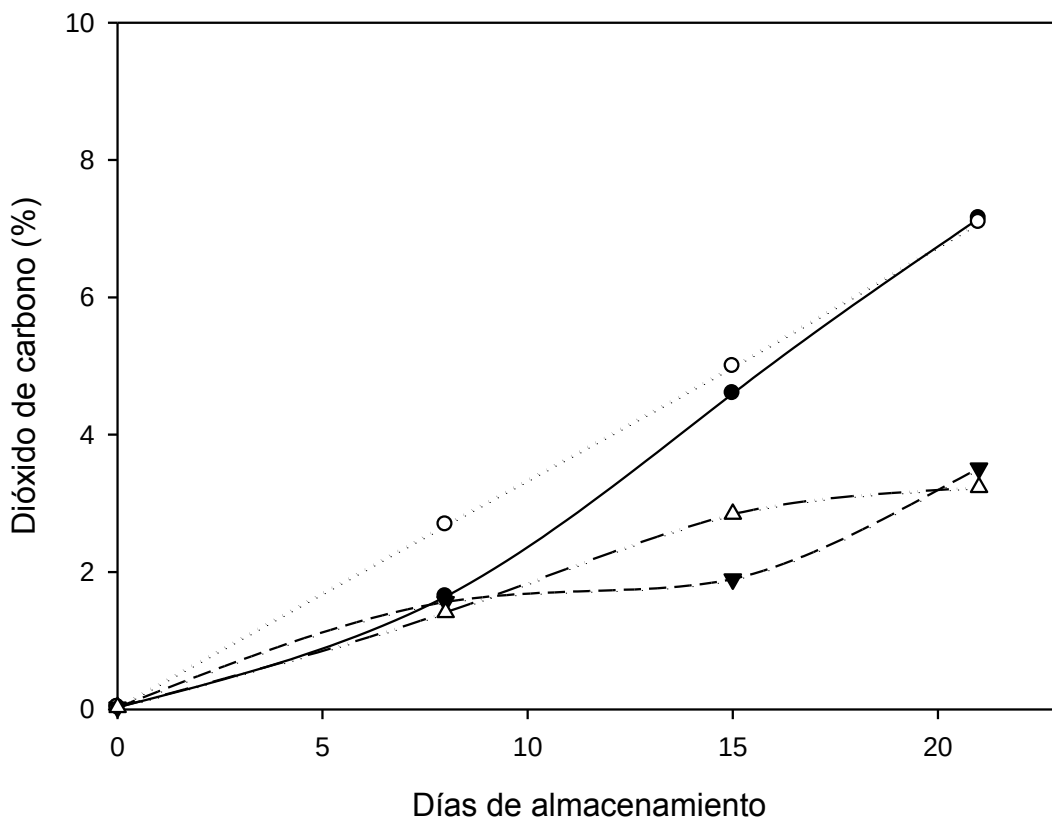


Figura 4. Concentración de dióxido de carbono (%) de la atmósfera modificada pasivamente circundante de pitaya mínimamente procesada al término de 8, 15 y 21 días en cuatro distintas condiciones de almacenamiento: a) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (—●—); b) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (····○····); c) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (---▼---) y d) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (-·-△-·-).

Con niveles bajos de oxígeno se reduce la respiración del producto y se evita el desarrollo de microorganismos aerobios; así mismo, el O_2 es un inhibidor de los microorganismos anaerobios y del metabolismo fermentativo de la pitaya empacutada (Kader, 2002; Martín & Oms, 2005).

Al finalizar los primeros 8 días de almacenamiento, las concentraciones oscilaron entre un 13 y 17 % de O_2 . Posteriormente los tratamientos almacenados en atmósfera pasiva con 4 microperforaciones redujeron en menor proporción la concentración de O_2 , y al término de 21 días, dichos tratamientos acumularon un

15 % de O₂. Mientras que los tratamientos en atmósfera pasiva sin perforaciones redujeron la concentración de O₂ a un 10 %. Lo sucedido en la concentración final de O₂ fue inversamente proporcional al efecto ocurrido en la concentración de CO₂, es decir el oxígeno tuvo tendencia a reducirse dentro de la atmósfera circundante (Figura 5)

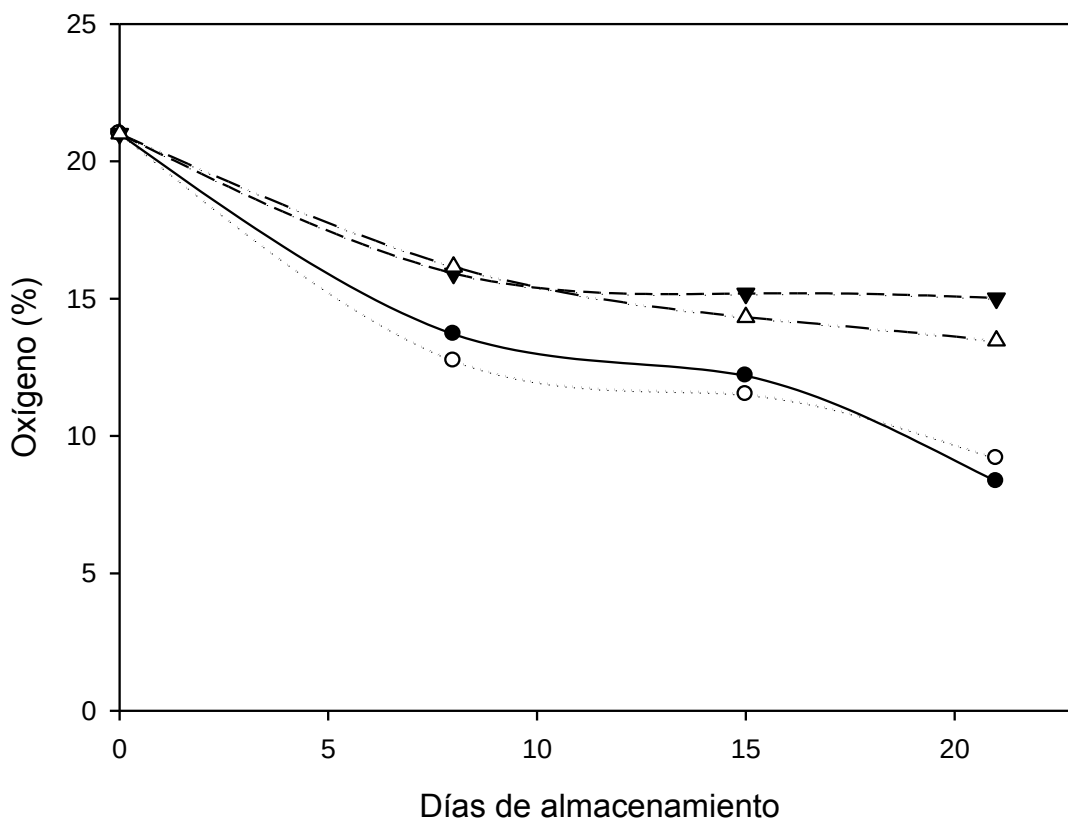


Figura 5. Concentración de oxígeno (%) de la atmósfera modificada pasivamente circundante de pitaya mínimamente procesada al término de 8, 15 y 21 días en cuatro distintas condiciones de almacenamiento: a) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (—●—); b) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (···○···); c) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (---▼---) y d) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (---△---).

El etileno participa en la vida poscosecha de muchos cultivos hortofrutícolas siendo a menudo perjudicial, al acelerar la senescencia y reducir su vida de anaquel (Kader, 2002).

En el caso de la concentración acumulada de etileno, ocurrió un comportamiento que no se vio afectado por los niveles de microperforado, como fue el caso del CO_2 y O_2 .

Al finalizar los 8 días de almacenamiento, las concentraciones de etileno de las 4 condiciones de atmósfera y de temperatura, oscilaron por debajo de 0.05 %. Al culminar los 15 días de almacenamiento, el tratamiento en atmósfera pasiva sin perforaciones a 4.7 °C acumuló una concentración de 0.2 % de C_2H_4 ; mientras que el resto de los tratamientos tuvieron una concentración de etileno menor a 0.1 %. La producción y acumulación de etileno se incrementó posterior a los 10 días de almacenamiento, culminando entre 0.35 y 0.4 %. (Figura 6)

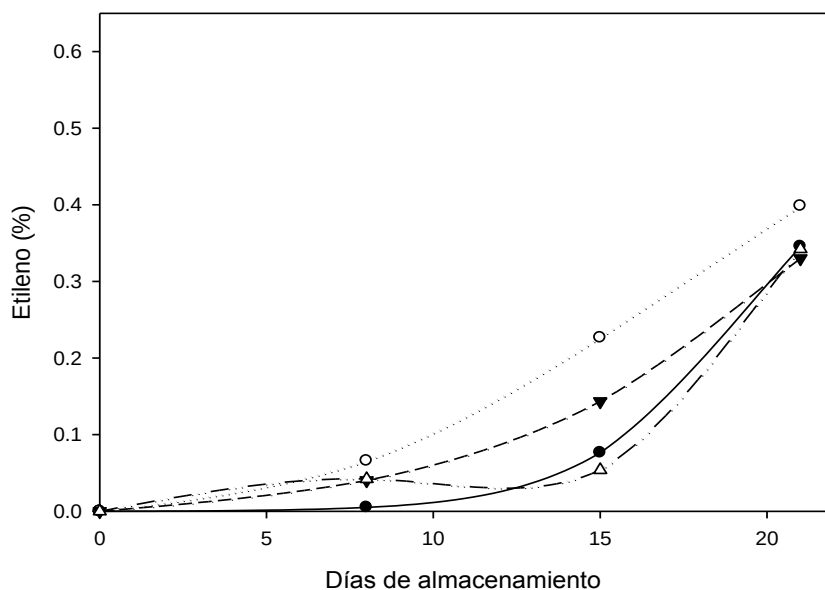


Figura 6. Concentración de etileno (%) de la atmósfera modificada pasivamente circundante de pitaya mínimamente procesada al término de 8, 15 y 21 días en cuatro distintas condiciones de almacenamiento: a) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (—●—); b) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (···○···); c) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (---▲---) y d) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (-·-△-·-).

La generación de etanol y acetaldehído se vio afectada ligeramente por efecto de los tratamientos. Las concentraciones oscilaron entre 3 a 16 mg por cada 100 g de pulpa (Figura 7),; tal producción puede ser despreciable, debido a que Quezada *et al.*, 2003, encontraron que la producción de etanol oscilo por encima de 350 mg. Con este hecho podemos decir que la generación de metabolitos secundarios fue mínima (despreciable), debido a que no se generó un ambiente de anaerobiosis en ningún tratamiento evaluado. Las bajas concentraciones de metabolitos anaerobios no fue atribuible a un ambiente anaeróbico, sino al resultado consecuente de un estrés.

Kimmerer & Kozlowsky (1982) mencionaron que un gran número de especies vegetales leñosas y herbáceas producen acetaldehído y etanol en respuesta al estrés causado por déficit de agua, enfriamiento, congelación y exposición al ozono, otras no lo hacen. Estos investigadores también demostraron que la producción de etanol por las plantas bajo estrés no requiere necesariamente de una baja disponibilidad de oxígeno. Al respecto Corrales, (1997) encontró que aguacates refrigerados a 2°C por 30 días en aire presentaron mayor contenido de etanol (como posible manifestación de daño por frío) que aguacates refrigerados a la misma temperatura y período, pero bajo atmósferas controladas; el autor sugirió que las atmósferas controladas lograron mitigar este desorden.

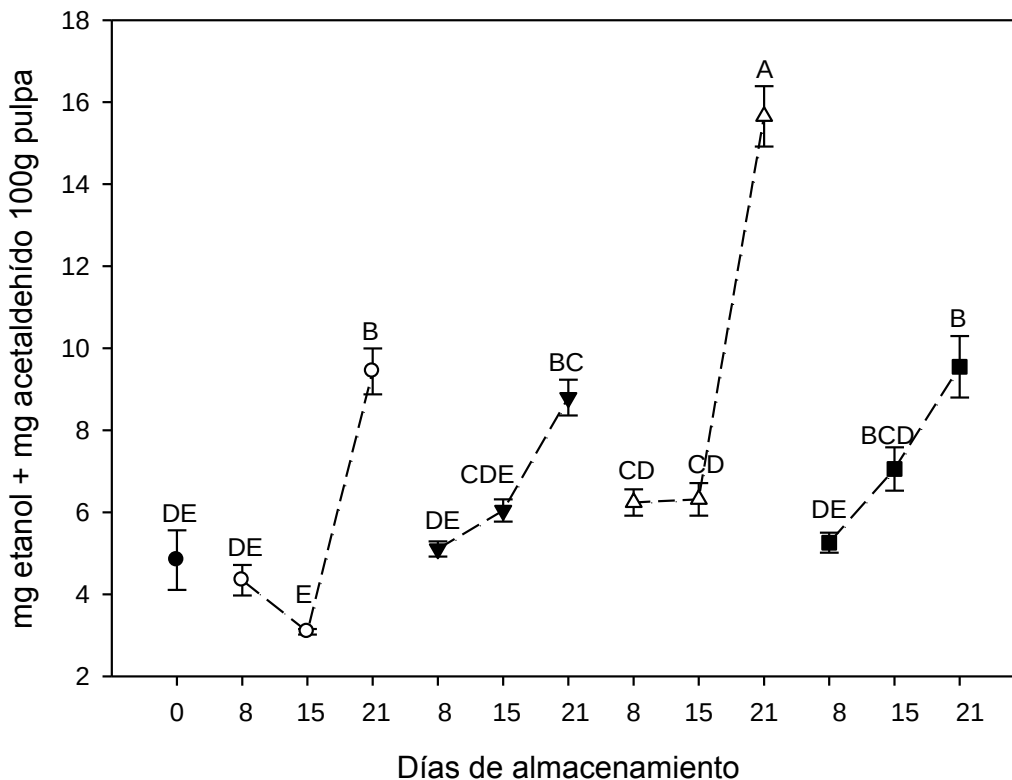


Figura 7. Contenido de metabolitos secundarios (etanol y acetaldehído) en mg por cada 100 g de fruta de pitaya mínimamente procesada al término de 8, 15 y 21 días en cuatro distintas condiciones de almacenamiento: a) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (○); b) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (▼); c) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (△) y d) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (■). Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey, 0.05).

3.3.3. Sólidos Solubles Totales (Sst)

El valor de referencia (testigo) fue de alrededor de 10°Bx, en la mayoría de los tratamientos no se generaron diferencias en Sst al transcurso del tiempo de almacenamiento. Únicamente el tratamiento almacenado en atmósfera con 4 perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C redujo significativamente su valor, pudiendo deberse a una mayor pérdida de masa (agua y compuestos orgánicos) (Figura 8).

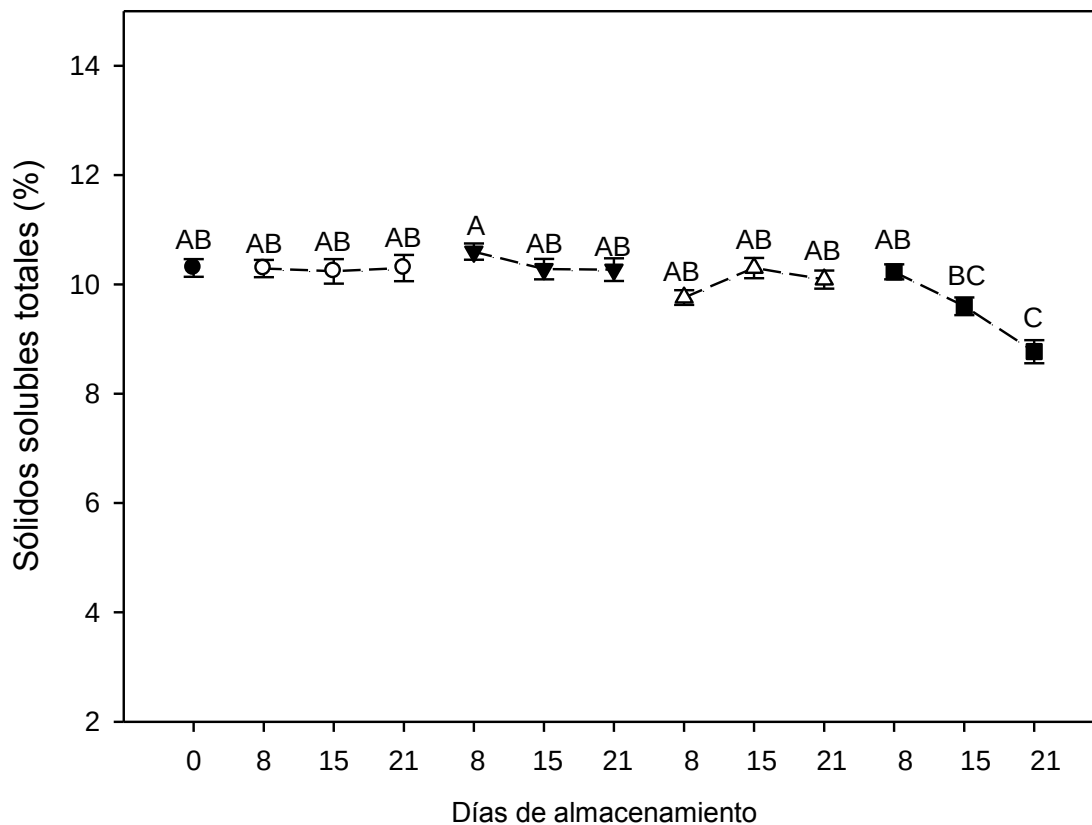


Figura 8. Sólidos solubles totales (%) de fruta de pitaya mínimamente procesada al término de 8, 15 y 21 días en cuatro distintas condiciones de almacenamiento: a) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (○); b) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (▼); c) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (△) y d) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (■). Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey, 0.05).

Los contenidos de sólidos solubles y de ácidos de los frutos frescos cortados pueden incrementar o disminuir en el tejido vegetal desde el momento del corte, almacenamiento y hasta su consumo, ya que involucran reacciones enzimáticas que son favorecidas por el daño físico, generando cambios en sabor y por lo tanto en la aceptabilidad por parte de los consumidores (Beaulieu & Baldwin, 2001)

3.3.4. Acidez titulable (At)

El mayor porcentaje de ácido predominante (cítrico) se presentó en pitaya fresca (testigo) con valor de alrededor de 0.36% y en todos los tratamientos existió una reducción numérica y en algunos casos reducción estadística significativa; siendo la pérdida de masa (jugo) la razón más probable de lixiviación de ácidos orgánicos.

Sin tomar en cuenta al valor de referencia (testigo), se puede decir que entre los 8 y 21 días de almacenamiento la At no cambió por efecto de ningún tratamiento. Siendo este comportamiento favorable, ya que son los ácidos orgánicos, compuestos responsables del sabor característico de cada producto (Figura 9). Tal comportamiento se asemeja a lo que menciona Kader (2002) “en las frutas frescas empacadas en atmósfera modificada se reduce la pérdida de acidez, cuando la concentración acumulada de CO₂ es menor del 5 %.

El ligero incremento porcentual de acidez se debe principalmente a la presencia de una etapa progresiva de producción del ácido por efecto de desdoblamiento de azúcares. Este comportamiento se asemeja con lo encontrado por Kader & Ben – Yehoshua (2000), encontraron que a alta concentraciones de oxígeno hay un efecto benéfico en la retención de ácido ascórbico.

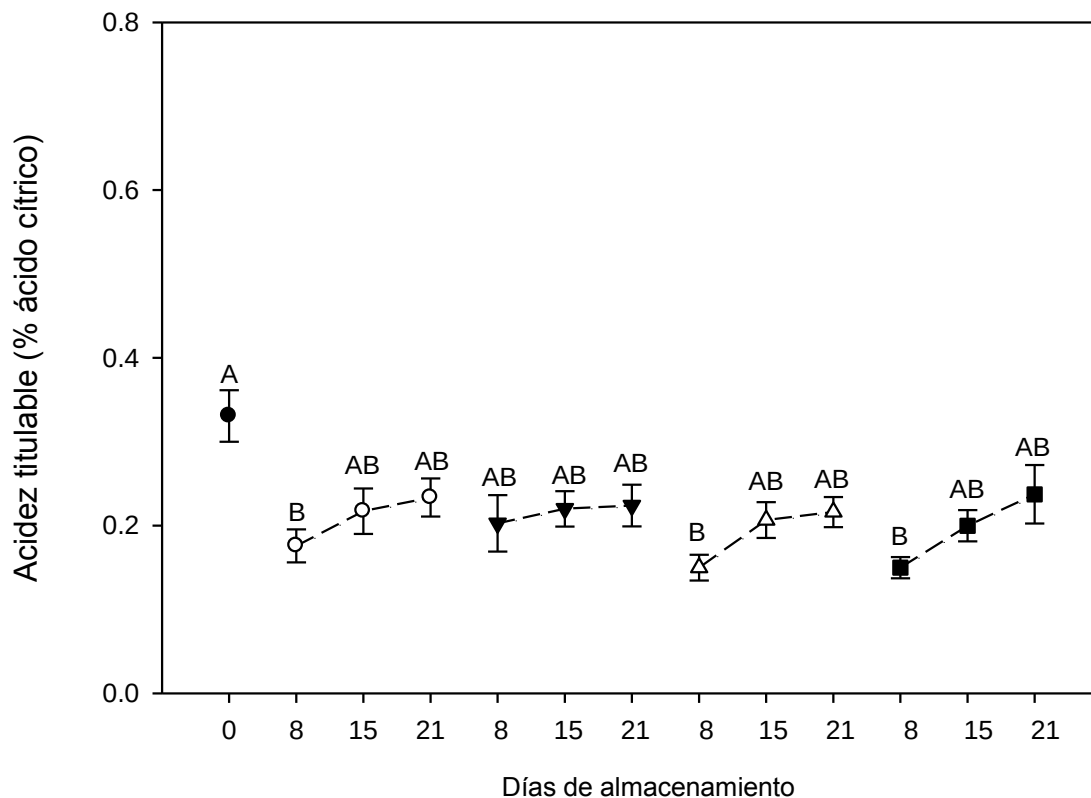


Figura 9. Acidez titulable (%) de fruta de pitaya mínimamente procesada al término de 8, 15 y 21 días en cuatro distintas condiciones de almacenamiento: a) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (○); b) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (▼); c) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (▲) y d) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (■). Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey, 0.05).

3.3.5. pH

El pH estuvo en un intervalo de 4.7 a 5.5, sin cambios respecto al tiempo de almacenamiento, y entre dichos tratamientos no existieron diferencias estadísticas significativas (Figura 10). Tal intervalo de pH coincide con lo encontrado por García et al. (2012) en variantes de *Stenocereus pruinosus*, las cuales presentaron valores entre 5 y 6.5.

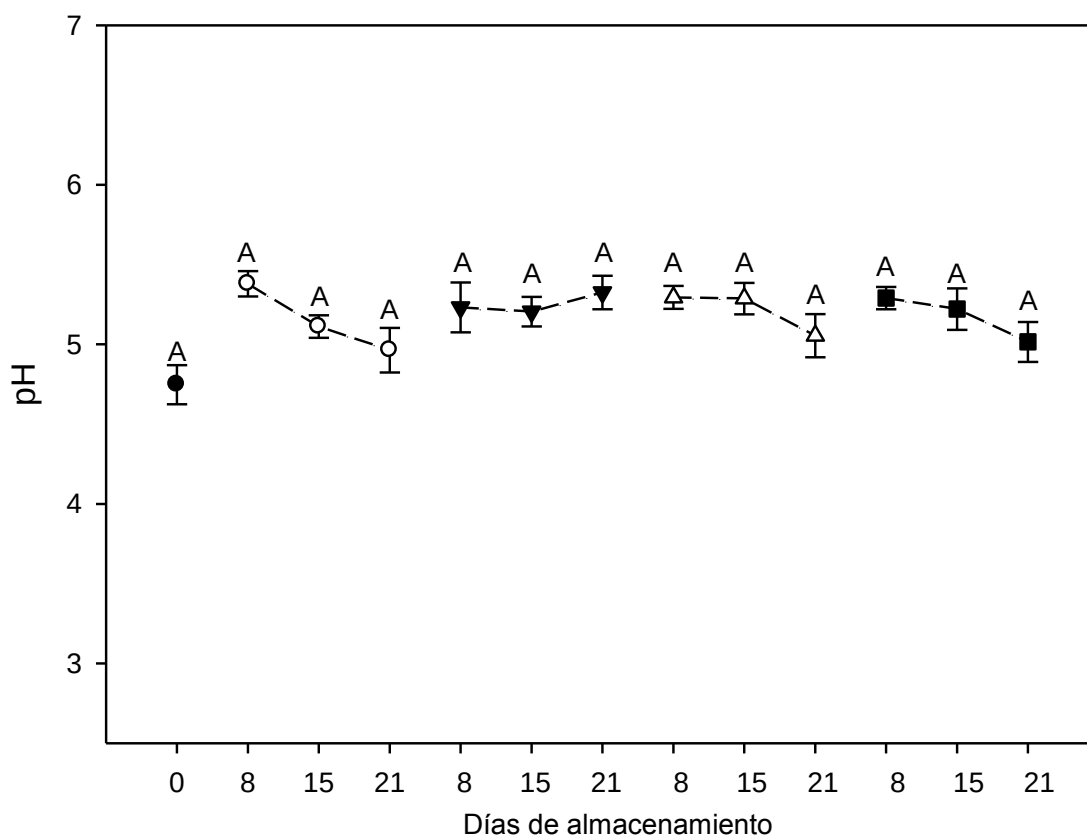


Figura 10. pH de fruta de pitaya mínimamente procesada al término de 8, 15 y 21 días en cuatro distintas condiciones de almacenamiento: a) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (○); b) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (▼); c) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (△) y d) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (■). Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey, 0.05).

3.3.6. Angulo de tono

El color es de los atributos de calidad más importantes en la comercialización de frutas y hortalizas. Los valores de ángulo de tono fueron estadísticamente más bajos en los primeros 8 días de almacenamiento, es decir se tornaron más rojos, esto posiblemente a una concentración de betalaínas (Figura 11)

Posterior a los 8 días de almacenamiento, las cuatro combinaciones de empaquetado de pitaya mínimamente procesada incrementaron su valor de ángulo de tono, es decir, hubo una pérdida de color rojo, en este caso una degradación de pigmentos (Magaña, 1999)

Ni la temperatura ni el nivel de perforado afectaron el comportamiento de variación de ángulo de tono. Únicamente el factor periodo de almacenamiento, afectó significativamente, es decir, los tratamientos evaluados tuvieron una tendencia similar al paso del tiempo de conservación.

Para poder contrarrestar el cambio de color, en investigaciones futuras se puede optar por utilizar estabilizadores de color, como el ácido ascórbico, que según González et al., 2000; Martínez et al., 2002; encontraron que el ácido ascórbico en mango fresco cortado, puede extender la vida de anaquel hasta por 10 días sin presentar cambios aparentes en color.

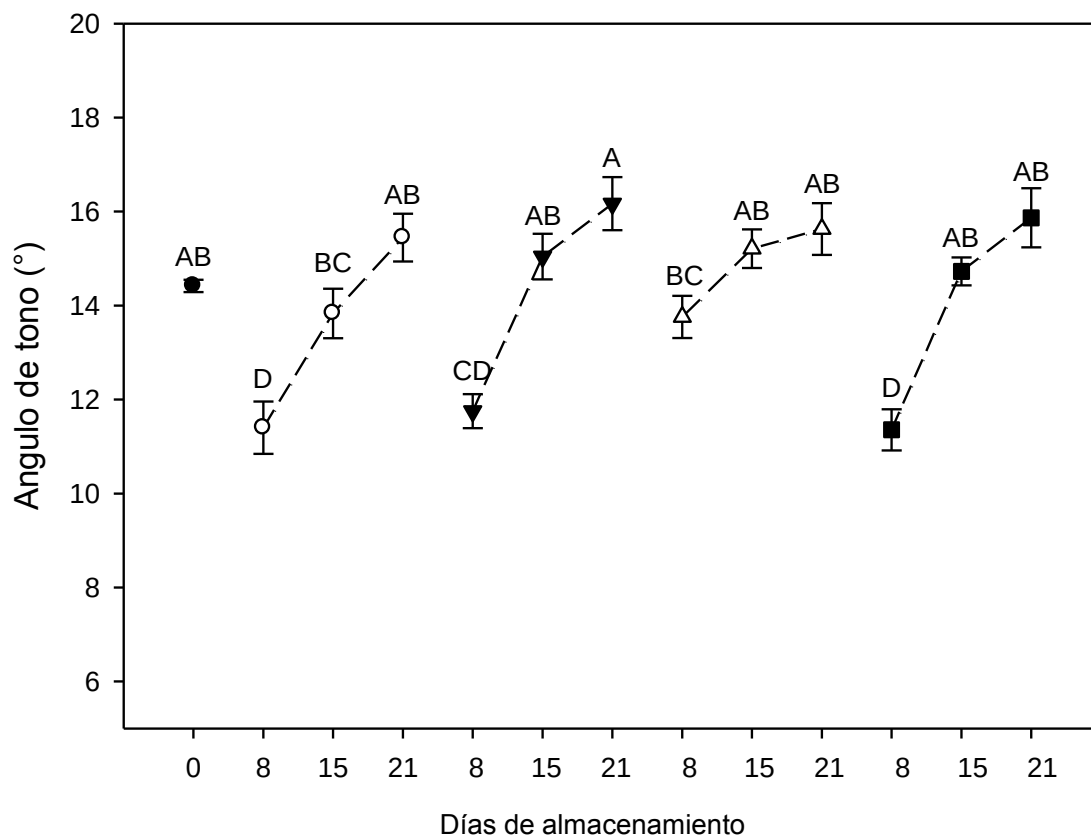


Figura 11. Angulo de tono ($^\circ$) de fruta de pitaya mínimamente procesada al término de 8, 15 y 21 días en cuatro distintas condiciones de almacenamiento: a) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a $3.9 \pm 0.8^\circ\text{C}$ ($\circ$); b) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a $4.7 \pm 1.5^\circ\text{C}$ (∇); c) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a $3.9 \pm 0.8^\circ\text{C}$ ($\triangle$) y d) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a $4.7 \pm 1.5^\circ\text{C}$ ($\blacksquare$). Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey, 0.05).

3.3.7. Luminosidad

Los valores de luminosidad de la pitaya mínimamente procesada, no se vieron afectados por ningún tratamiento evaluado; encontrando valores en un rango de 18 a 21% (Figura 12). Quezada et al. (2003) encontraron un comportamiento similar en pitaya mínimamente procesada bajo atmosfera dinámica y estándar.

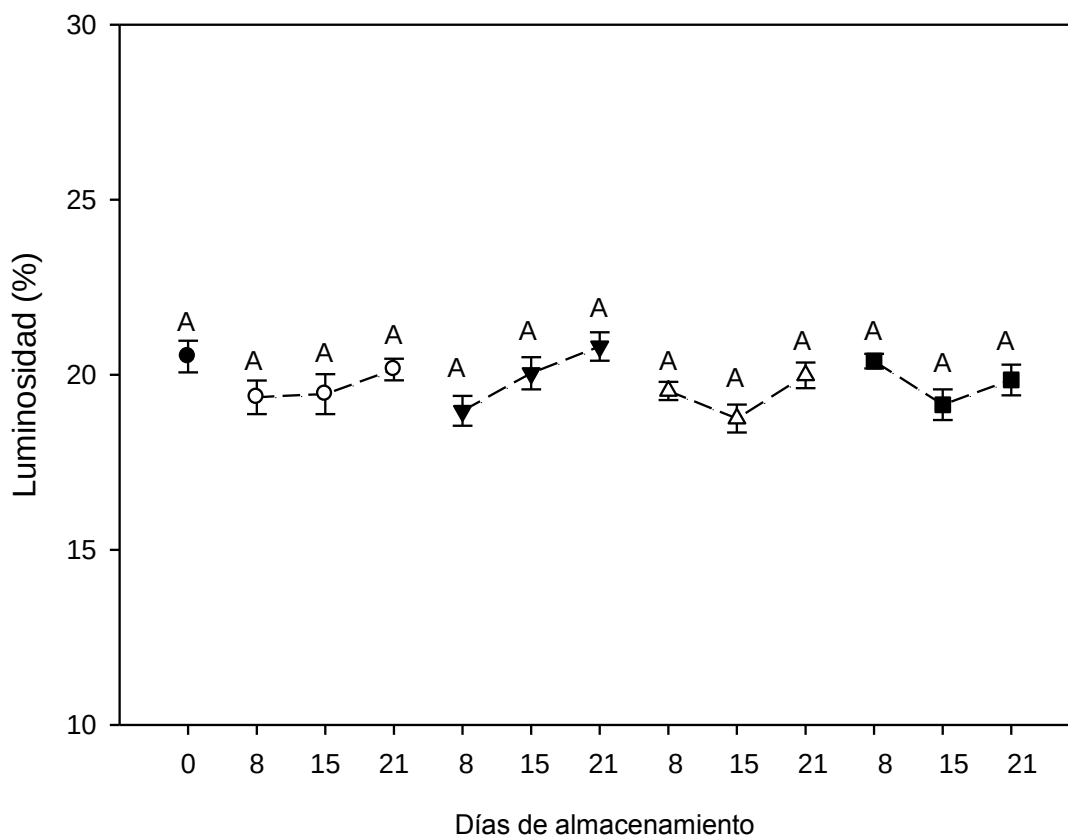


Figura 12. Luminosidad (%) de fruta de pitaya mínimamente procesada al término de 8, 15 y 21 días en cuatro distintas condiciones de almacenamiento: a) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (◊); b) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (▼); c) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 3.9 ± 0.8 °C (Δ) y d) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C (■). Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey, 0.05).

3.3.8. Índice de cromaticidad

La pitaya conservada en un atmósfera con 4 perforaciones a 4.7 ± 1.5 °C mantuvo su pureza de color a lo largo del periodo de almacenamiento (Figura 13). Mientras que los frutos del resto de los tratamientos redujeron significativamente su pureza de color, posiblemente por efecto de una degradación enzimática; y como consecuencia una pérdida de pigmentos que hacen menos puro el color característico de una pitaya fresca.

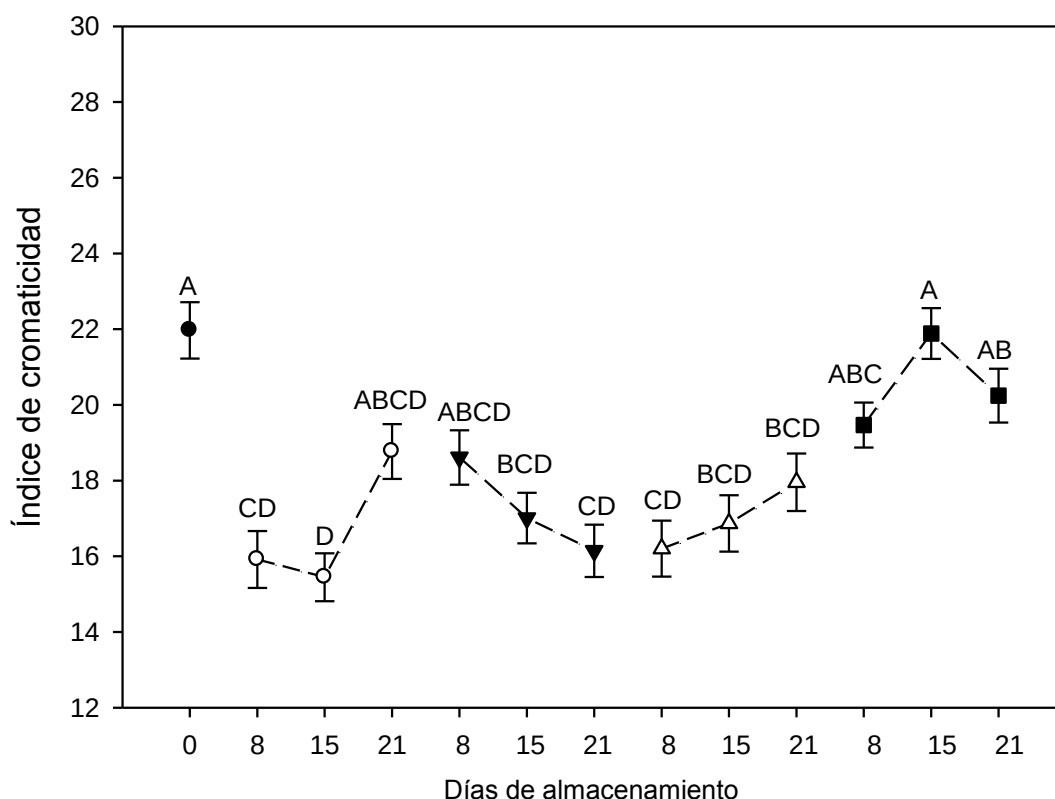


Figura 13. Índice de cromaticidad de fruta de pitaya mínimamente procesada al término de 8, 15 y 21 días en cuatro distintas condiciones de almacenamiento: a) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a $3.9 \pm 0.8^\circ\text{C}$ (○); b) Atmósfera modificada pasiva sin perforaciones a $4.7 \pm 1.5^\circ\text{C}$ (▼); c) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a $3.9 \pm 0.8^\circ\text{C}$ (△) y d) Atmósfera modificada pasiva con 4 perforaciones a $4.7 \pm 1.5^\circ\text{C}$ (■). Letras iguales indican diferencia no significativa (Tukey, 0.05).

3.3.9. Análisis de correlación canónica

El análisis multivariado de varianza arrojó diferencias significativas entre los grupos de medias de tratamientos, con valor de Lambda de Wilks de < 0.0001 . Las 10 variables medidas fueron agrupadas sólo en una variable (Cuadro 5), en donde la primera variable canónica explicó el 68 % de la variabilidad de los datos. Debido a esto, dicha variable canónica (Can1) fue la única que se siguió analizando.

Cuadro 5. Análisis canónico de las variables fisiológicas y químicas.

Variable	Correlación canónica	Valores propios	Proporción de la variabilidad	Pr > F
1	0.59	0.55	0.68	<0.0001
2	0.35	0.14	0.18	0.0748
3	0.30	0.10	0.12	0.3340
4	0.11	0.01	0.02	0.9252
5	0.06	0.003	0.004	0.8157

Las variables altamente correlacionadas y significativas con la variable canónica (Can1) fueron el ángulo de tono y la concentración de etileno (C₂H₄); sin embargo los valores de pH y acidez titulable también ejercieron correlación significativa. Por lo tanto, las diferencias observadas en los tratamientos evaluados de pitaya mínimamente procesada se deben principalmente al ángulo de tono y a la concentración de etileno de la atmósfera circundante del empaque.

La Figura 14 muestra una fracción de la estructura canónica, donde se señalan los coeficientes de correlación entre la primera variable canónica de cada grupo con sus variables originales. En la variable canónica químicas las variables originales con mayor influencia fueron el ángulo de tono (0.96), pH (0.24) y acidez titulable (0.22). Mientras que en la variable canónica fisiológica las variables originales de mayor influencia fueron etileno (0.89) y acetaldehído (0.18).

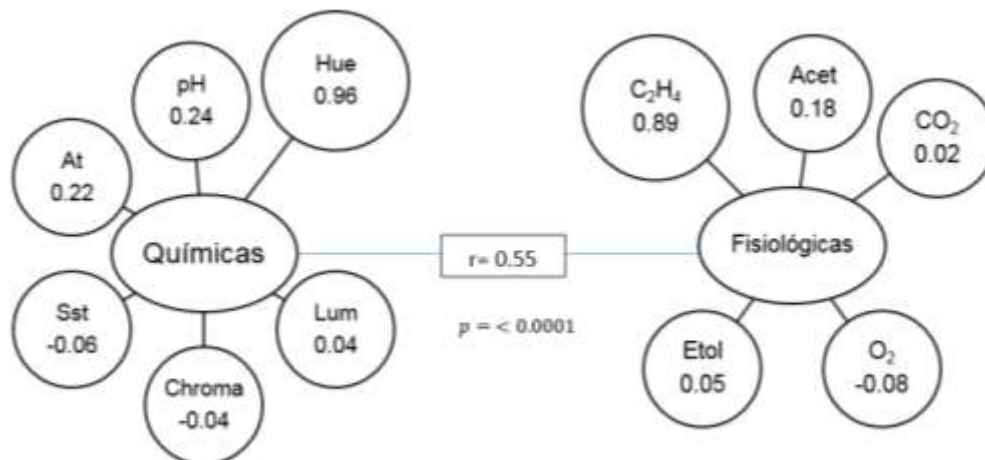


Figura 14. Fracción de la estructura canónica mostrando la primera variable canónica de cada grupo y la correlación simple con sus respectivas variables originales. Químicas = Variables químicas; Hue = ángulo de tono; pH = pH; At = Acidez titulable; Sst = Sólidos solubles totales; Chroma = Índice de cromaticidad; Lum = Luminosidad; Fisiológicas = Variables fisiológicas; C₂H₄ = Etileno; Acet = Acetaldehído; CO₂ = Dióxido de carbono; O₂ = Oxígeno; Etol = Etanol.

La composición del etileno en los empaques fue la variable causante de las variaciones en el ángulo de tonalidad. A medida que los frutos maduran, incrementa la tasa de biosíntesis de etileno como consecuencia de un incremento en la actividad de las enzimas involucradas en su ruta biosintética (Taiz & Zeiger, 2003). Y la degradación del color tiene que ver directamente con la activación enzimática provocada por la acumulación de etileno.

3.4. Conclusiones

Las variables de calidad, SST, acidez titulable, pH y luminosidad, se mantuvieron constantes a través del periodo de almacenamiento.

Los cambios drásticos en la tonalidad e índice de cromaticidad del color ocurrieron posterior a los 15 días de almacenamiento; posiblemente son el resultado de una degradación enzimática de pigmentos.

La mayor velocidad de pérdida de peso ocurrió en frutos almacenados a la baja temperatura ($3.9 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$).

En relación al ambiente dentro de los empaques; en ninguno de los tratamientos se generó un ambiente anaeróbico al transcurrir 15 días de almacenamiento. Tal comportamiento se corrobora con la medición de metabolitos secundarios (etanol y acetaldehído), donde las concentraciones fueron mínimas, casi despreciables. Así que la película plástica evaluada tiene las características idóneas para evitar la generación de un ambiente anaeróbico.

Se observó que el procesamiento mínimo de pitaya con el uso de polipropileno laminado (cubierta plástica) y con el empacado en atmósfera modificada pasiva es una tecnología que permite extender la vida útil; además ayuda a mantener las características químicas, aceptabilidad sensorial y estabilidad microbiológica por 15 días.

En futuras investigaciones se debe poner énfasis en la generación y acumulación de etileno, ya que es un factor importante en el cambio del ángulo de tono.

3.5. Literatura citada

Allothman, M., Bhat, R. and Karim A. (2009). Effects of radiation processing on phytochemicals and antioxidants in plants produce. Trends in Food Science and Technology 20: 201-212.

Beaulieu, J. C. & Baldwin, E. A. (2001). Flavor and aroma of fresh – cut fruits and vegetables. In: Lamikanra, O. Fresh cut fruits and vegetables: Science, Technology and Market. CRC Press: Boca Raton, FL, EE. UU. Pag. 391 – 426.

Bierhals, V.; Chiumarelli, M.; Hubinger, M. 2011. Effect of cassava starch coating on quality and shelf life of fresh-cut pineapple (*Ananas Comosus* L. Merril cv “Perola”). Journal of Food Science 76(1): 62-72.

Castellan, W. G. (1998). Fisicoquímica. Tercera edición. Editorial Addison – Wesley Publishing Company, Inc. Pag. 78 -80.

Catalá, R., Lagarón, J. M. & Gavara R. (2005). Tipos de envases utilizados. En González, A. G. A., Gardea, A. A. & Cuamea, N. F. Nuevas tendencias de conservación de productos vegetales frescos cortados. (pp. 427 – 442). Guadalajara, Jalisco, México: Editorial Logiprint Digital.

Corrales, G. J. (1997). Physiological and biochemical responses of “Hass” avocado fruits to cold-storage in controlled atmospheres. In: Seventh international controlled atmosphere research conference, Volume 3: Fruits other than apples and pears. Postharvest Horticulture Series No. 17: 69-74.

Davis, P.L., Chace, W.G. (1969). Determination of alcohol in citrus juice by gas chromatographic analysis of headspace. HortScience 4,117.

Dong, X., Wrolstad, R. & Sugar, D. (2000). Extending shelf life of fresh – cut pears. Journal Food Sci. 65: 181 – 186.

Falguera, V., Quintero, P., Jiménez, A., Muñoz, J.A. and Ibarz, A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active function and trends in their use. Trends in Food Science & Technology 22: 292-303.

- González, A. G. A., Wang, C. Y. & Buta, J. G. (2000). Maintaining quality of fresh – cut mangoes using antibrowning agents and modified atmosphere packaging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48 (3): 4204 – 4208.
- Gorny, J., Cifuentes, R., Hess, P. B. & Kader, A. (2000). Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by cultivar, ripeness stage, fruit size, and storage regime. *Int Journal Food Sci and Technol*. 65: 541 – 544.
- Kader A. A. (2002). *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. 3a edición. Ed. University of California. Estados Unidos de América. Pp. 142-143.
- Kader, A. A. & Ben – Yehoshua, S. B. (2000). Effects of superatmospheric oxygen levels on postharvest physiology and quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*. 20 (1): 1 -13.
- Kimmerer, T. W. & Kozowski, T. T. (1982). Ethylene, ethane, acetaldehyde and ethanol production by plants under stress. *Plant Physiology* 69: 840-847.
- Lamúa, S. M. (2000). *Aplicación del frío en los alimentos*. Instituto del frío de Madrid. 1ª edición. Editorial AMV Ediciones. Pág 350).
- Magaña, B. W. (1999). Tipos de empaque y temperaturas de frigoconservación en frutas de pitaya (*Stenocereus queretaroensis*). Tesis profesional, Depto. De Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Méx.
- Magaña, B. W., Sauri, D. E., Corrales, G. J. & Saucedo, V. C. (2013). Variaciones bioquímicas – fisiológicas y físicas de las frutas de pitahaya (*Hylocereus undatus*) almacenadas en ambiente natural. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 14 (1): 21 -30.
- Martín, B. O. & Oms, O. G. (2005). Efecto de la atmósfera modificada en las características físico – químicas y nutricionales de la fruta fresca cortada. *La Habana, Cuba*. Pág. 47 – 58.
- Martínez, F. M., Harper, C., Pérez, M. F. & Chaparro, M. (2002). Modified atmosphere packaging of minimally processed mango and pineapple fruits. *Journal of Food Science*. 67 (9): 3365 – 3371.

Olivas, G. and Barbosa, C. G. (2005). Edible coatings for fresh-cut fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 45: 657–670.

Pan, Y. & Zu, H. (2012). Effect of UV-C radiation on the quality of fresh-cut pineapples. *Procedia Engineering* 37: 113-119.

Robles, S. M., Gorinstein, S., Martín, B. O., Astiazarán, G. H., González, A. G. y Cruz, V. R. (2007). Frutos tropicales mínimamente procesados: potencial antioxidante y su impacto en la salud. *Interciencia* 32(4): 227-232.

Rodríguez, F. A., Rivera, D. M. & González, A. G. (2005). Uso de atmósferas modificadas y controladas. En: González, A. G., Gardea, A. A. & Cuamea, N. F. (2005). *Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados*. CIAD, A.C. México. Pág. 447 – 474.

Sant'Anna, V., Gurak, P. D., Ferreira, M. L. D. and Tessaro, I. C. (2013). Tracking bioactive compounds with colour changes in foods- A review. *Dyes and Pigments*. 98:601-608.

Taiz, L. & Zeiger, E. (2003). *Plant Physiology*. Third Edition. Ed. Sinauer Associates. 690 p.

Wachiraya, I., Saichol, K. & Wouter, G. (2006). Physiological and biochemical changes during banana ripening and finger drop. *Postharvest Biology and Technology* 39(2):211 - 216.

Zhuang, H., Barth, M. & Fan, X. (2011). Respiration and browning discoloration of fresh – cut produce in modified atmosphere packaging. In: Brody, A. L., Zhuang, H. & Han, J. H. (2011). *Modified atmosphere packaging for fresh – cut fruits and vegetables*. Wiley – Blackwell, EE. UU. Pág. 31 – 56.

**4. CAPÍTULO 4. ACEPTABILIDAD GLOBAL Y VIDA DE
ANAQUEL SENSORIAL DE FRUTOS DE PITAYA
MÍNIMAMENTE PROCESADOS.**

RESUMEN

Aceptabilidad global y vida de anaquel sensorial de frutos de pitaya mínimamente procesados.

Cardona – Vázquez, J.1; Corrales – García, J.1; Colinas – León, T.2; Hernández - Montes, A.1; Ybarra – Moncada, M.1

La pitaya es un fruto altamente perecedero debido a capa epidérmica delgada y a sus espinas caducas grandes. Por lo que en esta investigación se probó un procesamiento mínimo en charolas de poliuretano recubiertas con polipropileno laminado. A la pitaya mínimamente procesada se le realizaron dos pruebas de vida de anaquel sensorial empleando análisis de supervivencia con la distribución de Weibull, la primera a una temperatura de 3.9 ± 0.8 °C almacenada por 8, 15 y 21 días y la segunda prueba a 4.7 ± 1.5 °C por los mismos niveles de almacenamiento (8, 15 y 21 d); en cada prueba se evaluó un testigo (pitaya fresca). Adicionalmente se realizó una prueba de aceptabilidad global y una prueba de aceptabilidad por el empaque. Se determinó una vida de anaquel sensorial de 14 días para los tratamientos almacenados a 3.9 ± 0.8 °C y 15 días para los tratamientos conservados a 4.7 ± 1.5 °C; como fechas límite de consumo. Estos resultados fueron obtenidos mediante el análisis de supervivencia con distribución de Weibull. El análisis de componentes principales y la comparación de medias por Diferencia Mínima Significativa nos indicaron que la pitaya fresca y la almacenada por 8 días y 15 días fueron las más aceptadas. La aceptación del empaque fue indiferente, es decir no hubo desagrado ni agrado.

Palabras claves: *Stenocereus pruinosus*, evaluación sensorial, análisis de supervivencia.

Tesis de maestría en ciencias en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Programa en Ciencias Agroalimentarias. Universidad Autónoma Chapingo. Autor: Jairo Cardona Vázquez. Director de tesis: Dr. J. Joel E. Corrales García.

ABSTRACT

Overall acceptability and shelf life of minimally processed pitaya fruits.

Cardona – Vázquez, J.1; Corrales – García, J.1; Colinas – León, T.2; Hernández - Montes, A.1; Ybarra – Moncada, M.1

The pitaya is a highly perishable fruit due to its thin epidermal layer and large deciduous spines. Therefore, in this investigation a minimum processing was tested in polyurethane trays covered with laminated polypropylene. The minimally processed pitaya was subjected to two sensory shelf life tests using survival analysis with the Weibull distribution, the first at a temperature of 3.9 ± 0.8 ° C stored for 8, 15 and 21 days and the second test at 4.7 ± 1.5 ° C for the same storage levels (8, 15 and 21 d); in each test, a control (fresh pitaya) was evaluated. Additionally, a global acceptability test and a test of acceptability for packaging were carried out. A sensory shelf life of 14 days was determined for the treatments stored at 3.9 ± 0.8 ° C and 15 days for the treatments stored at 4.7 ± 1.5 ° C; as consumption deadlines. These results were obtained by means of survival analysis with Weibull distribution. The analysis of main components and the comparison of means by Significant Minimum Difference indicated that the fresh pitaya and the one stored for 8 days and 15 days were the most accepted. The acceptance of the package was indifferent, that is, there was no displeasure or liking.

Keywords: *Stenocereus pruinosus*, sensory analysis, survival analysis.

Tesis de maestría en ciencias en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Programa en Ciencias Agroalimentarias. Universidad Autónoma Chapingo. Autor: Jairo Cardona Vázquez. Director de tesis: Dr. J. Joel E. Corrales García.

4.1. Introducción

La pitaya es una cactácea endémica de México y cuyos frutos son bayas poliespermáticas de forma globosa u ovoide, y con pulpa que puede ser de color anaranjado, rojo o púrpura, de semillas fácilmente masticables. Dicho fruto tiene un alto potencial económico y está ampliando su importancia a nivel internacional, principalmente por ser un fruto exótico y por sus atributos sensoriales agradables: sabor, aroma, color y textura (Corrales, Flores, Gómez, Meraz, Rodríguez & Schwentesius, 2003). Sin embargo, es una fruta altamente perecedera (Nerd, Tel & Mizrahi, 2002; García, Valle, Salinas & Joaquín, 2013) debido a su delgada capa epidérmica que cubre a la pulpa. La vida útil oscila entre 3 y 8 días en refrigeración. Una alternativa tecnológica es la conservación por un procesamiento mínimo.

A partir de la década de los años 90 se ha observado una demanda creciente de los llamados productos mínimamente procesados, que intentan combinar frescura y conveniencia dando lugar a alimentos frescos en apariencia que se empaacan y comercializan como los productos procesados. El concepto de producto procesado en fresco o mínimamente procesado se basa en que los tratamientos que se les aplican para su empacado, comercialización y facilidad de consumo o conveniencia, producen cambios poco notables respecto a las características deseadas de calidad del producto fresco entero (Welti, 2001).

Los cambios físicos, químicos y microbiológicos que tienen lugar en las frutas tras el corte llevan indefectiblemente a la pérdida de calidad y aceptabilidad durante su comercialización. Con la elección de la tecnología de conservación y envasado y del material de envase con las adecuadas características de barrera a gases y vapores, así como su respuesta a los diferentes factores externos como la temperatura, la humedad, la luz, y las manipulaciones propias de la comercialización se puede conseguir alargar la vida útil de los alimentos con garantías de calidad y seguridad (Catalá *et al.*, 2007).

El envasado en atmósfera modificada es en la actualidad la tecnología de conservación más ampliamente utilizada para la comercialización de frutas y

hortalizas en fresco. Con la adecuada composición de la atmósfera de envasado en combinación con la refrigeración se reduce el crecimiento de microorganismos, así como los procesos metabólicos y la pérdida de agua. Ahora bien, esta tecnología de envasado no es suficiente en muchas ocasiones para mantener adecuadamente el producto durante todo el periodo de comercialización y hasta su consumo. El envasado activo puede significar para estos productos una excelente alternativa, efectiva y económica para la conservación de estos productos (Catalá, Almenar & Gavara, 2007).

La vida de anaquel desde el punto de vista sensorial está definida por el tiempo en el cual el 50 % de los consumidores rechaza la compra o el consumo de un alimento, por lo que su delimitación es fundamental para una comercialización exitosa (Giménez, Ares & Ares, 2012).

La NOM-051-SCFI-SSA1-2010 establece que la fecha que se indica en la etiqueta del producto puede declararse como fecha de caducidad o fecha de consumo preferente. La Asociación Internacional de la Industria Agroalimentaria (2013) mencionó que la fecha de caducidad: Es el momento a partir del cual un alimento ya no es apto para su consumo porque podría ser perjudicial para la salud y generalmente se estima mediante estudios microbiológicos. Mientras que la fecha de consumo preferente es definida como: La fecha a partir de la cual las propiedades físico-químicas, sensoriales del producto (sabor, color, olor o textura) empiezan a modificarse y pueden ser percibidas de forma negativa por el consumidor. Se estima mediante estudios físico-químicos y/o sensoriales.

La evaluación sensorial involucra el desarrollo y uso de principios y métodos para medir respuestas humanas a productos e ingredientes. En la evaluación sensorial un común denominador es la tarea que realiza el humano como evaluador (Hernández, 2007), lo que provee información valiosa acerca del comportamiento que el consumidor tendrá con relación a un alimento que se le ofrece.

Como lo mencionan Hough, Langohr, Gómez & Curia (2003) "La evaluación sensorial es el factor clave para determinar la vida útil de muchos productos alimenticios. Los alimentos microbiológicamente estables, tales como galletas o

mayonesa, tendrán su vida útil definida por los cambios en sus propiedades sensoriales. Muchos alimentos frescos, como el yogur o la pasta, después de un almacenamiento relativamente prolongado pueden ser microbiológicamente seguros de comer, pero pueden ser rechazados debido a cambios en sus propiedades sensoriales”.

La prueba de aceptabilidad mide el atractivo sensorial de un producto y proporciona cierta información sobre si el producto gusta o no gusta, en cierto sentido absoluto. Los datos de aceptabilidad parten de una escala hedónica, y es posible derivar otras fuentes de información más completas de tales. Los datos hedónicos pueden usarse en técnicas de mapeo preferencial, que permite la visualización de las direcciones para las preferencias del producto en modelos espaciales de un conjunto de productos. En los modelos espaciales, los productos están representados por puntos en el espacio y los productos similares son colocados cercanamente. Las dimensiones o atributos que diferencian los productos pueden deducirse de las posiciones del producto, de los productos opuestos situados en diferentes lados, y de la interpretación de los ejes del espacio. Las preferencias de los consumidores individuales pueden proyectarse como vectores a través del espacio para mostrar direcciones hacia mayor agrado. Estos vectores pueden entonces sugerir direcciones para la optimización del producto. Además, las diferencias en las direcciones preferidas para diferentes consumidores pueden ayudar a descubrir segmentos de mercado o grupos con diferentes gustos y disgustos. (Lawless & Heymann, 2010).

El análisis de supervivencia es utilizado extensamente en estudios clínicos, epidemiología, biología, sociología y estudios de confiabilidad. Gacula & Singh (1984) introdujeron el modelo de Weibull, derivado del análisis de supervivencia, en los estudios de vida útil de los alimentos. Desde el punto de vista sensorial, los productos alimenticios no tienen vida útil propia, sino que dependen de la interacción del alimento con el consumidor; es decir, la función de supervivencia se definiría como la probabilidad de que un consumidor acepte un producto almacenado más allá del tiempo. El riesgo no se centraría en el deterioro del

producto, sino en el rechazo del producto por parte del consumidor. (Hough, et al., 2003)

El análisis de supervivencia es una metodología estadística basada en la probabilidad de aceptación o rechazo del consumidor hacia un producto. El análisis de supervivencia se ha utilizado para determinar la vida de anaquel en productos alimenticios, como son queso Ricotta (Hough, Puglieso, Sanchez & Mendes, 1999), pan blanco (Gámbaro, Fiszman, Giménez, Varela & Salvador, 2004), carne molida (Hough, Garitta & Gómez, 2007), yogur probiótico (Cruz, Walter, Silva, Faria, Bolini, Pinheiro, & Sant'Ana, 2010), queso Halloumi (KamLeh, Toufeili, Ajib, Kanso & Haddad, 2012), y en papa (Hough et al., 2007), entre otros. Para la realización del análisis de supervivencia, Hough, Calle, Serrat & Curia (2007) determinaron que 120 es el número adecuado de consumidores, esto cuando se emplea un diseño escalonado y los datos siguen una distribución de Weibull. Además se recomienda evaluar al menos 5 intervalos de tiempo cuando la vida de anaquel termina aproximadamente a la mitad del estudio.

Los objetivos de la presente investigación fueron evaluar el grado de aceptación mediante una prueba de aceptabilidad global; evaluar la vida de anaquel sensorial mediante una prueba de supervivencia sensorial por distribución de Weibull de frutos mínimamente procesados; y evaluar el grado de aceptación del empaque, usando una escala hedónica

4.2. Materiales y Métodos

4.2.1. Planeación experimental

Fase preliminar

En el primer ciclo productivo de la pitaya (mayo, 2016) se realizaron ensayos de las metodologías, y los resultados obtenidos ayudaron al replanteamiento y ajustes de variables de respuesta, así como la incorporación de un nuevo factor de estudio (microperforación). Durante esta fase se optó por usar refrigeradores industriales muy inestables, cuya consecuencia fue causar inestabilidad en los productos almacenados.

Delimitación del área de colecta

Los frutos de pitaya se colectaron en la comunidad de Dolores Hidalgo, en el municipio de Santa Clara Huitziltepec, Puebla ($18^{\circ}75'58''$ y $97^{\circ}86'58''$ N; 1940 msnm), en las parcelas de los señores Modesto, Juan y Salomón Larios Luna.

Colecta

Las pitayas se cosecharon con las técnicas usuales de la región de estudio, tomando en cuenta como condición fisiológica la madurez de corte, que ocurre cuando las espinas se desprenden con facilidad y la cáscara adquiere brillo.

Los frutos, homogéneos en tamaño y madurez comercial, recién colectados y con espinas se empacaron en cajas de cartón y fueron recubiertos con tela algodonosa (huata), con el objetivo de reducir los daños mecánicos originados por punción entre las espinas de otros frutos.

Acondicionamiento

El traslado terrestre del material vegetal se realizó en una camioneta con aire acondicionado, cuya temperatura fue de 20 ± 2.0 °C durante 3.5 horas. Al llegar al laboratorio, inmediatamente, los frutos se colocaron en una cámara frigorífica a temperatura de 10 ± 3.0 °C donde permanecieron por 12 horas, con el propósito de eliminar calor de campo.

Desespinado

Una vez transcurrido el periodo de enfriamiento; se realizó cuidadosamente la remoción de espinas, usando guantes de carnaza gruesos, mediante frotación suave, así éstas se desprendieron fácilmente, para evitar daño en cáscara.

Lavado y desinfección

Las pitayas se lavaron con agua potable con el propósito de eliminar tierra, residuos de espinas o material extraño, después se colocaron en una charola de plástico para escurrir el exceso de agua.

La desinfección del fruto se realizó por inmersión, en una solución clorada (pH = 6.8 y 18 °C) a una concentración de 250 ppm de hipoclorito de sodio comercial (Cloralex) con un tiempo de contacto de alrededor de 5 min (Dong, Wrolstad & Sugar, 2000; Gorny, Cifuentes, Hess & Kader, 2000). Posteriormente se realizó el escurrido de la solución.

Procesamiento mínimo

Una vez que los frutos se escurrieron, se llevó a cabo el procesamiento mínimo, que consistió básicamente en una operación de pelado (remoción de la cáscara), usando un cuchillo afilado se realizó una incisión en la parte apical y distal del fruto y otra incisión longitudinal, tales cortes facilitaron el desprendimiento de la cáscara de la pulpa del fruto. Esta última operación fue un punto crítico de control; por lo cual se aplicaron las medidas de higiene (uso de bata limpia, cofia, guantes quirúrgicos y cubrebocas) y sanitización de los utensilios (cuchillos y charolas) y de la zona de trabajo (una mesa de plástico y una cámara frigorífica a 7 ± 1.5 °C), para reducir los riesgos de contaminación cruzada.

4.2.2. Montaje y descripción de experimentos

El experimento consistió en la evaluación de dos factores (temperatura y tiempo de almacenamiento) usando una atmósfera pasiva; las pitayas peladas enteras se colocaron en charolas de poliestireno y fueron recubiertas con polipropileno laminado de 20/20 micrómetros de espesor para su almacenamiento. Se evaluó

un testigo, el cual consistió en pitaya mínimamente procesada fresca (sin intervención de ningún factor).

Para el almacenamiento en refrigeración se utilizaron dos cámaras frigoríficas. El factor temperatura se evaluó a dos niveles: 3.9 ± 0.8 °C y 4.7 ± 1.5 °C. Y el factor tiempo de almacenamiento se evaluó en 3 periodos: 8, 15 y 21 días (Cuadro 6).

Cuadro 6. Definición de tratamientos aplicados a frutos de pitaya mínimamente procesados.

Tratamiento	Temperatura (°C)	Almacenamiento (días)
A	3.9 ± 0.8	8
B	3.9 ± 0.8	15
C	3.9 ± 0.8	21
D	4.7 ± 1.5	8
E	4.7 ± 1.5	15
F	4.7 ± 1.5	21
Testigo	-----	-----

Testigo: Fruta fresca mondada.

4.2.3. Variables respuesta

Apariencia de empaque

A los jueces se les presentaron tres frutos de pitaya mínimamente procesada (sin cáscara) colocada en una charola de poliestireno tipo pozolero y recubierto con polipropileno laminado 20/20. (Figura 15). Se evaluó la apariencia general del empaque, usando una escala hedónica de nueve puntos (Hernández, 2007).



Figura 15. Pitaya mínimamente procesada empacada en charolas de poliestireno tipo pozolero y recubierto con polipropileno laminado 20/20 (película plástica)

Aceptabilidad global de frutos mínimamente procesados y del empaque

Se reclutaron 100 consumidores de pitaya del Departamento de Ingeniería Agroindustrial, se evaluó la aceptabilidad global de pitayas mínimamente procesadas.

Las muestras de pitaya mínimamente procesada se presentaron aleatoriamente y de forma balanceada en rebanadas, fraccionando un fruto entero en cuartos, y codificando con números aleatorios de tres dígitos.

Los resultados de aceptabilidad global se analizaron mediante un diseño de bloques completamente al azar, seguido por comparaciones de medias por el método de diferencia mínima significativa, usando el paquete estadístico SAS versión 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.). Con el programa XLSTAT17 se realizó un mapa de preferencia interno para ilustrar la distribución espacial de los tratamientos y la tendencia de aceptabilidad por parte de los consumidores. Para las pruebas de aceptabilidad global y apariencia de empaque se usaron escalas hedónicas de nueve puntos. Como se ilustra en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Escala hedónica de nueve puntos

Valor	Categoría
1	Me disgusta extremadamente
2	Me disgusta mucho
3	Me disgusta moderadamente
4	Me disgusta poco
5	Ni me disgusta, ni me gusta
6	Me gusta poco
7	Me gusta moderadamente
8	Me gusta mucho
9	Me gusta extremadamente

Análisis de supervivencia

Se realizaron dos pruebas de vida de anaquel sensorial, como se ilustra en el Cuadro 8. Nuevamente se usaron los 100 consumidores reclutados en la prueba de aceptabilidad global, los panelista fueron miembros del Departamento de Ingeniería Agroindustrial.

Cuadro 8. Estructuración de pruebas de supervivencia compuesta por dos temperaturas y cuatro periodos de almacenamiento.

Prueba	Temperatura (°C)	Almacenamiento (días)
1	3.9 ± 0.8 °C	Test, 8, 15 y 21
2	4.7 ± 1.5 °C	Test, 8, 15 y 21

Test: Fruta mínimamente procesada fresca (cero días de almacenamiento)

Las muestras de pitaya mínimamente procesada se presentaron en rebanadas, fraccionando un fruto entero en cuartos bajo un orden aleatorio y balanceado, codificando con números aleatorios de tres dígitos.

Para el análisis de supervivencia, a los panelistas, se realizó una pregunta: ¿Comprarías este producto en un mercado establecido? Como respuesta se tuvieron dos opciones: Sí lo compraría y No lo compraría.

A los resultados de supervivencia se les clasificó las censuras, y enseguida se utilizó Minitab ® 17.1.0 para ajustar datos experimentales a modelos paramétricos. La distribución con el mejor ajuste fue determinada con el estadístico Anderson-Darling. El método de estimación fue el de máxima verosimilitud. Posteriormente, se realizó un análisis de distribución paramétrico con censura arbitraria. Los datos se ajustaron a la distribución de Weibull, se estimaron los parámetros de forma (σ) y de escala (μ); los percentiles; la probabilidad de supervivencia; y se obtuvo la gráfica de supervivencia. La vida útil correspondió al día en el que se tuvo un 50 % en la probabilidad de la aceptabilidad/rechazo, lo cual corresponde a la mediana de la distribución (percentil 50) (Cardelli & Labuza, 2001; Hough *et al.*, 2003; Hough, 2010).

Esta información fue suficiente para modelar la probabilidad de que los consumidores acepten los productos con diferentes tiempos de almacenamiento; a partir del modelo de Weibull, se realizaron estimaciones de la vida útil mediante el programa Sigma plot 11.0 Copyright ® 2008 Systat Software, Inc.

4.3. Resultados y discusión

Las respuestas obtenidas por parte de los 100 consumidores, para la prueba de apariencia de empaque, indicó que la aceptabilidad por el empaque es indiferente, es decir, no les gustó pero tampoco les ocasionó un desagrado.

4.3.1. Aceptabilidad global

Con la prueba de aceptabilidad global se construyó un mapa de preferencia, el cual muestra la distribución espacial de los 6 tratamientos y el testigo (pitaya fresca). Cada uno de los vectores muestra la dirección o tendencia de un juicio ejercido por un consumidor. La aglomeración de vectores por tratamiento indica mayor aceptabilidad por parte de un conjunto de consumidores (Figura 16).

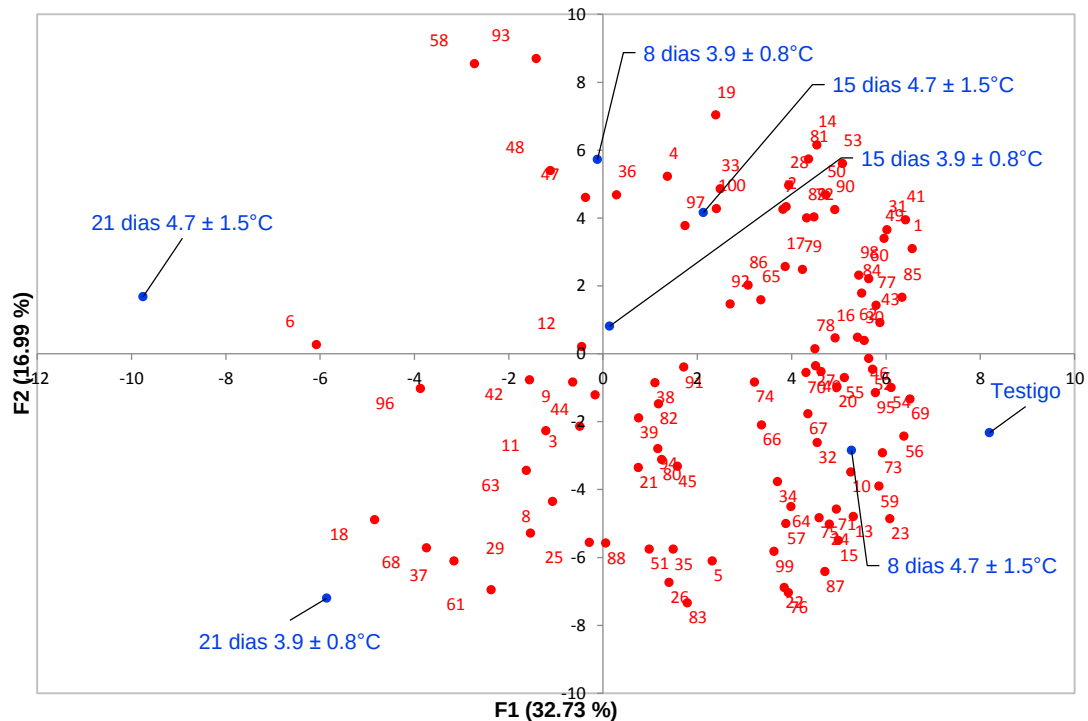


Figura 16. Mapa de preferencia interno de seis tratamientos de temperatura y tiempo de almacenamiento de pitaya mínimamente procesada.

Dentro del mapa de preferencia y sustentado por una comparación de medias por el estadístico de diferencia mínima significativa (Cuadro 9)), se observa la agrupación de tres segmentos de consumidores. El primer segmento y con mayor número de preferencias son los tratamientos de fruta fresca (testigo) y la fruta almacenada por 8 días a $4.7 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$. El segundo segmento estuvo compuesto por tres tratamientos: 8 días a $3.9 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$; 15 días a $4.7 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ y 15 días a $3.9 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$. Y un último segmento y con menos tendencias preferenciales se encuentran dos tratamientos: 21 días a $4.7 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ y 21 días a $3.9 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$.

Cuadro 9. Comparación de medias de tratamientos usando el estadístico de diferencia mínima significativa (DMS). Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

t Agrupamiento	Media	N	Tratamiento
A	6.12	100	Testigo (fresco)
A			
A	5.79	100	8días 4.7±1.5 °C
B	5.31	100	15días 4.7 ± 1.5°C
B			
B	5.09	100	8días 3.9 ± 0.8°C
B			
B	5.07	100	15días 3.9 ± 0.8°C
C	4.64	100	21días 3.9 ± 0.8°C
C			
C	4.26	100	21días 4.7 ± 1.5°C

4.3.2. Prueba de supervivencia

En la prueba de supervivencia, una vez realizada la censura de los datos de aceptación o rechazo de 0, 8, 15 y 21 días de almacenamiento, se procedió a evaluar la bondad de ajuste en cuatro modelos de distribución, lo anterior tomando como referencia al valor más bajo del estadístico Anderson-Darling (Cuadro 10). En ambas temperaturas manejadas, la distribución de Weibull presentó un mejor ajuste a los datos, este modelo ha sido frecuentemente utilizado en los estudios de análisis de supervivencia en varios productos.

Cuadro 10. Valores de bondad de ajuste por Anderson – Darling de cuatro modelos de distribución para dos temperaturas de almacenamiento de pitaya mínimamente procesada.

Distribución	3.9 ± 0.8°C (Anderson Darling)	4.7±1.5°C (Anderson Darling)
Weibull	3.30	7.14
Lognormal	3.55	7.21
Exponencial	3.09	7.15
Loglogística	3.37	7.26

Una vez que se probó la bondad de ajuste de los datos censurados a la distribución de Weibull, se empleó la función de máxima verosimilitud para estimar los parámetros de media y desviación estándar de dicho modelo, con intervalos de confianza al 95 %. Con estos parámetros se estimó la función de supervivencia, además se obtuvieron las características de distribución, donde la mediana correspondió a la fecha en la que se presentó un 50 % de probabilidad de aceptación/rechazó. Estos datos se muestran en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Parámetros estimados y mediana de la distribución de Weibull para los datos censurados de aceptación/rechazo de frutos de pitaya mínimamente procesados almacenados a 4.7 ± 1.5°C y 3.9 ± 0.8°C.

Parámetros	Estimación	Error estándar	Límites al 95 %	
			Inferior	Superior
Forma	2.92	0.48	2.11	4.03
Escala	4.7 ± 1.5 °C	17.45	0.48	15.58
Mediana		15.39	0.89	13.74
Forma	3.9 ± 0.8 °C	3.73	0.57	2.77
Escala		15.47	0.76	14.06
Mediana		14.02	0.72	12.69

En las Figuras 17.a y 17.b. se observa la función de supervivencia para la distribución paramétrica Weibull, en las temperaturas 3.9 ± 0.8°C y 4.7 ± 1.5°C, donde el fin de la vida de anaquel correspondió a los días en que existió un 50 % de probabilidad de aceptación para el consumo de pitaya mínimamente procesada. La vida útil fue de aproximadamente 14 y 15 días para 3.9 ± 0.8°C y

$4.7 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ respectivamente; o expresada diferente de forma, la vida útil de los frutos almacenados a $3.9 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$ fue de 14 días (en un intervalo de 12.69 a 15.50 días), mientras la vida útil para los frutos almacenados a $4.7 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ se presentó a los 15 días (en un intervalo de 13.74 a 17.26 días).

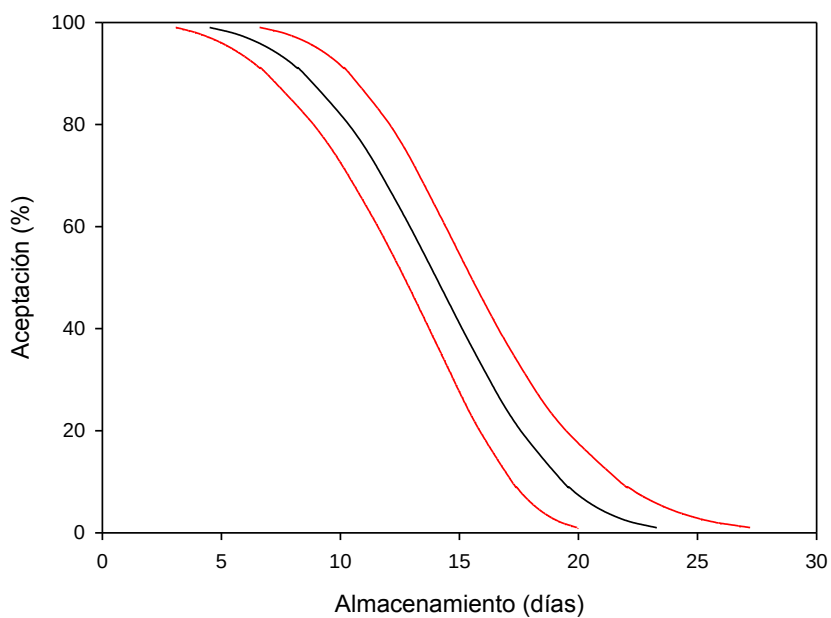


Figura 17.a. Umbral de aceptación de pitaya mínimamente procesada, almacenada a $3.9 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$

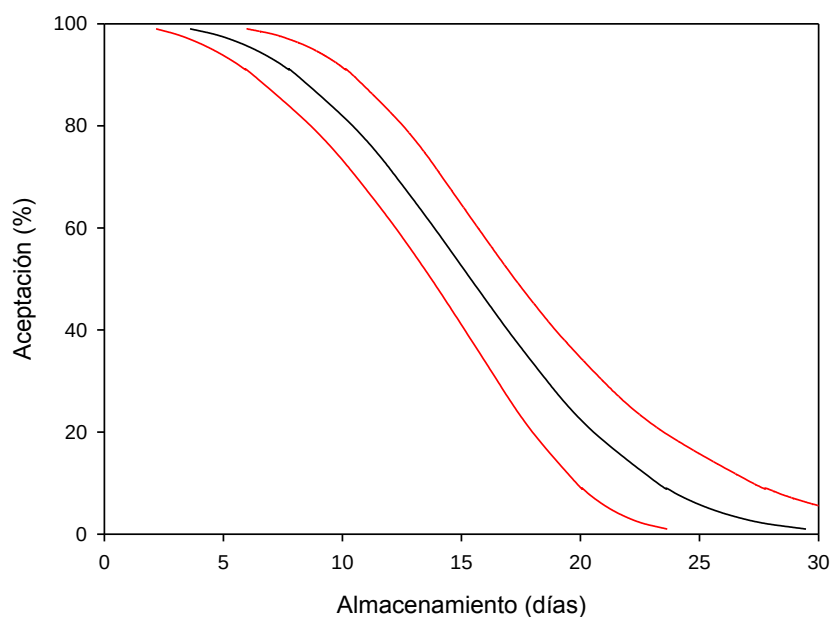


Figura 17b. Umbral de aceptación de pitaya mínimamente procesada, almacenada a $4.7 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$

Con la información generada en las pruebas de aceptabilidad global y vida de supervivencia es posible determinar que la pitaya como producto mínimamente procesado puede clasificarse como un producto fresco, sin perder sus características sensoriales similares, ya que tiene como vida útil de alrededor de 14 y 15 días, cuando se mantiene en condiciones de cadena de frío.

4.4. Conclusiones

La vida de anaquel sensorial empleando las pruebas de aceptabilidad global y de análisis de supervivencia para pitaya mínimamente procesada, en condiciones de bajas temperaturas ($3.9 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$ y $4.7 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$), es entre 14 y 15 días. Posterior a 14 y 15 días es probable que el 50 % de los consumidores rechace el producto.

El estudio de la vida sensorial de anaquel de pitaya mínimamente procesada centrado en la aceptación de los consumidores, y no en el deterioro del producto, permitió determinar que los consumidores están dispuestos a aceptar cierta reducción en la aceptabilidad global antes de rechazar el consumo del producto.

El empaque no fue agradable debido a la escasa presentación y estética de la charola de poliuretano. Por lo que es necesario la elaboración de un empaque conveniente para pitaya mínimamente procesada.

4.5. Literatura citada

Asociación Internacional de la Industria Agroalimentaria “AINIA” (2013). *3 métodos para estimar la vida útil de un producto de alimentación*. Párr. 20 y 21. Recuperado de: <http://www.ainia.es/tecnoalimentalia/tecnologia/3-metodos-para-estimar-la-vida-util-de-un-producto-de-alimentacion/>.

Cardelli C. and Labuza T. P. (2001). Application of Weibull hazard analysis to the determination of the shelf life of roasted and ground coffee. *LWT –Food science and Technology*, 34(5):273-278.

Catalá, R., Almenar, E. y Gavara, R. (2007). Innovaciones y tendencias en el envasado de frutas y hortalizas. Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos. 1: 1540 – 1547.

Corrales, G. J., Flores, V. C. A., Gómez, C. M. A., Meraz, A. M. R., Rodríguez, C. A., Schwentesius, R. R. (2003). Pitayas y Pitahayas. Universidad Autónoma Chapingo. Pag. 110-120

Cruz A. G., Walter E. H. M., Silva Cadena R., Faria J. A.F., Bolini H.M.A, Pinheiro H. P., and Sant’Ana A. S. (2010). Survival analysis methodology to predict the shelf-life of probiotic flavored yogurt. *Food Research International* 43: 1444–1448.

Dong, X., Wrolstad, R. & Sugar, D. (2000). Extending shelf life of fresh – cut pears. *Journal Food Sci.* 65 : 181 – 186.

Gacula, M. and Singh J. (1984). Statistical methods in food and consumer research. New York: Academic Press. 505 p.

Gámbaro A., Fiszman S., Giménez A., Varela P., and Salvador A. (2004). Consumer acceptability compared with sensory and instrumental measures of white pan bread: sensory shelf-life estimation by survival analysis. *Journal of Food Sciences* 69 (9): 401-405.

García, C. L., Valle, G. S., Salinas, M. Y. and Joaquín, C. E. (2013). Physical, chemical, and antioxidant activity characterization of pitaya (*Stenocereus pruinosus*) fruits. *Plant Foods for Human Nutrition* 68 (4): 403-410.

Giménez, A., Ares, F. and Ares G. (2012). *Review: Sensory shelf-life estimation: A review of current methodological approaches*. *Food Research International* 49: 311–325

Gorny, J., Cifuentes, R., Hess, P. B. & Kader, A. (2000). Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by cultivar, ripeness stage, fruit size, and storage regime. *Int Journal Food Sci and Technol*. 65: 541 – 544.

Hernández, M. A. (2007). *Evaluación sensorial de productos agroalimentarios*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 190 p.

Hough G. (2010). *Sensory shelf life estimation of food products*. CRC Press, Taylor & Francis Group. USA. 237 pp.

Hough G., Calle M. L., Serrat C. and Curia A. (2007). Number of consumers necessary for shelf life estimations based on survival analysis statistics. *Food Quality and Preference* 18 : 771–775

Hough G., Garitta L. and Gómez B. (2007). Sensory shelf-life predictions by survival analysis accelerated storage models. *Food Quality and Preference* 17: 468–473.

Hough, G., Langohr, K., Gómez, G. and Curia, A. (2003). *Survival analysis applied to sensory shelf life of foods*. In: *Sensory and nutritive qualities of food*. 68, 359 – 362.

Hough G., Pugliese M. L., Sanchez R., Mendes da Silva O. (1999). Sensory and microbiological shelf-life of a commercial Ricotta cheese. *J Dairy Sci* 82:454- 459.

KamLeh R., Toufeili I., Ajib R, Kanso B. and Haddad J. (2012). Estimation of the shelflife of Halloumi cheese using survival analysis. *Czech J. Food Sci*. 30 (6): 512– 519.

Lawless, H. and Heymann, H. (2010). *Sensory evaluation of food: Principles and practices*. Second edition. DOI 10.1007/978-1-4419-6488-5

Nerd, A., Tel, Z. N. and Mizrahi, Y. (2002). Fruits of vine and columnar cacti. En: P. S. Nobel (ed) *Cacti. Biology and uses*. University of California Press. Berkeley, L. A., London. 185 – 197.

NOM-051-SCFI/SSA1-2010, *Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados-Información comercial y sanitaria*.

Walti, C. J. (2001). Novedades y alternativas para el procesamiento de frutas. *Agrotecnia Vol. III*