



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
QUERÉTARO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DE ALIMENTOS**

**PROGRAMA DE POSGRADO EN
ALIMENTOS DEL CENTRO DE LA
REPUBLICA (PROPAC)**

**“EFECTO DE LOS FACTORES AMBIENTALES Y DE
EMPAQUE EN LA CONSERVACIÓN DE PRODUCTOS
MÍNIMAMENTE PROCESADOS (TUNA Y JÍCAMA)”**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Presenta:

I.B.Q. JAVIER AÑORVE MORGA

Querétaro, Qro.

Septiembre de 1999.

No Adq. H 60797

No. Título _____

Clas. 664.81

A637e

BIBLIOTECA CENTRAL UAQ
"ROBERTO RUIZ OBREGON"



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

MAESTRIA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

**"EFECTO DE LOS FACTORES AMBIENTALES Y DE EMPAQUE EN LA
CONSERVACIÓN DE PRODUCTOS MÍNIMAMENTE PROCESADOS
(TUNA Y JÍCAMA)"**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Presenta:

I.B.Q. JAVIER AÑORVE MORGA

Dirigido por:

**DR. EDMUNDO MERCADO SILVA
SINODALES**

DR. EDMUNDO MERCADO SILVA

Presidente

DR. SALVADOR PÉREZ GONZÁLES

Secretario

M. en C. M. RAFAEL FERNÁNDEZ MONTES

Vocal

DR. CANDELARIO MONDRAGÓN JACOBO

Suplente

DRA. MA. TERESA MARTÍNEZ DAMIÁN

Suplente

Q.M.J. MERCEDES ESPARZA GARCÍA

Director de la Facultad de Química

DRA. MA. GUADALUPE BERNAL SANTOS

Directora de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
México

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida, iluminarme en todo momento y brindarme la riqueza más grande que un hijo pueda poseer la herencia de tener buenos Padres.

A mis Padres, quienes han sido la fuente constante de mi superación ya que con su ejemplo me han dado la educación más sólida que he podido recibir, han estado presentes cuando les he necesitado, en los momentos de felicidad para alentarme y en los momentos de tristeza para consolarme y aconsejarme, por que con su humildad, sencillez y honradez me han heredado una personalidad de servicio y entrega, pues me han dado hasta lo que no tienen, buscando siempre lo mejor para mi.

A mis hermanos Arrowsmith, Nestor, Argi, Neria y Silvestre quienes al formar parte de mi Familia han sido un gran estímulo para salir adelante. Gracias por su apoyo moral y económico.

Al Dr. Edmundo Mercado Silva por que sin conocerme me permitió tener la fortuna de trabajar bajo su asesoría, por compartir sus conocimientos con migo y por ser tan buen ASESOR y un gran SER HUMANO y por que el presente trabajo lleva mucho de él.

A mis Sobrinas Queridas (Rosy, Monserrath, y Samantha) por su gran Amor y respeto con lo cual me motivan a seguir siempre adelante.

A Ernestina por sus palabras de aliento y por su Amor.

A mis Padrinos Sr. Próspero y Sra. Beda por que su cariño me inspiran a ser cada vez mejor.

A mi Amigo de siempre el M.V.Z. Melecio Ortíz Hernández, por escucharme y aconsejarme para seguir adelante.

A mis Tíos y Primos por brindarme siempre su apoyo y al Sr. Arenas por mostrarme siempre una actitud de superación y por sus palabras de aliento.

A mis compañeros de generación con quienes compartí momentos de grandeza y de flaqueza. Especialmente a Sandra, Nelly, Lety e Isidro por sen tan buenos Amigos.

A mis Amigos de laboratorio: Angélica, Rafa, Laura Conejo, Laura Regalado, Oswaldo, Maribel, Nadia, Claudia, Bere, Esther y Luis por permitirme compartir tantos momentos felices, brindarme su valiosa amistad y por su apoyo.

A la M. En C. Elia Nora Aquino Bolaños y al Lic. En Nutrición Luis Amador Vargas por los conocimientos compartidos y por su apoyo laboral.

Al Dr. Salvador Pérez, por ser una gran persona, brindarme su confianza, aceptar gustosamente participar como miembro de mi comité, su ayuda desinteresada y los valiosos comentarios hechos al presente trabajo.

Al Dr. Candelario Mondragón, al M. en C. Rafael Fernández y a la Dra. Teresa Martínez, por aceptar formar parte de mi comité y por enriquecer con sus comentarios el presente trabajo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo académico y económico para la realización de mis estudios de Maestría.

A la Universidad Autónoma de Querétaro por brindarme la Oportunidad de cursar mis estudios de Posgrado.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental del Norte de Guanajuato por aportar el material vegetal (Tunas) para poder realizar el presente trabajo.

A la Empresa CRYOVAC (Sealed Air de México, S.A. de C.V.) por proporcionar el material de empaque utilizado en el presente trabajo.

Al Personal del DIPA M. en C. Jorge Alvarez, Carmelita, Laura, Marigel, Silvia, Lety, Don Toño, Don Emiliano, Don Victor, Don Benjamin y a todos gracias por su apoyo y amistad.

A la Familia Corona Velázquez por la confianza brindada, en especial a la Sra. Maru, por ser un ejemplo de lucha constante y humanidad,

A mis amigos la M. en C. Alicia Mondragón y el M. en C. Miguel Angel Duarte, por la Amistad, Consejos y grandes momentos compartidos, así también a mi amigo Julio Cesar y todos los del DIPA.

A todos mis amigos del Instituto Tecnológico de Acapulco (Paty, Norma, Marcelino, Pedro, Ana, Gisela, Yasmith, Vicky, Juan Mario y Rosa Isela) por motivarme para iniciar mis estudios de Maestría. A todos los Maestros que han participado en mi formación académica.

Especialmente a mis abuelitos Sr. Abel Morga (+) y Romualda Cristóbal (+) por que estoy seguro que desde donde estén me están ayudando.

*A esos que se preocupan
Por el bien de la humanidad,
A esos que hablan de la paz,
Del amor y la verdad.*

*A esos que poseen una mente brillante,
un corazón puro y un alma grande,
a esos que no buscan la fama,
la riqueza o los honores
y que sus palabras van siempre
de acuerdo con sus actos.*

*A esos maestros que nos dieron su ejemplo,
Su amor, su sabiduría y su doctrina,
A esos que mereciéndolo todo,
No poseían nada.*

*A esos grandes hombres,
A esos grandes maestros, mi reconocimiento,
Mi respeto y cariño
Y que el supremo creador los bendiga
Por hacer tanto bien a la humanidad.*

EL PRESENTE TRABAJO SE DESARROLLÓ EN EL LABORATORIO DE FISIOLOGÍA Y BIOQUÍMICA POSCOSECHA DE FRUTAS Y HORTALIZAS DEL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO EN ALIMENTOS, DE LA FACULTAD DE QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO, BAJO LA DIRECCIÓN DEL DR. EDMUNDO MERCADO SILVA.

RESUMEN

El consumo de la tuna es limitado en parte por la presencia de ahuates en su pericarpio. Este problema puede ser superado mediante la aplicación de la tecnología del procesado mínimo. Esta tecnología ha sido también estudiada en jícama pero no se han realizado estudios para seleccionar la película plástica que mantenga la atmósfera recomendada. Los objetivos de este trabajo fueron, determinar la temperatura y atmósfera óptimas para conservar la calidad de tuna mínimamente procesada; seleccionar el tipo de empaque que mejor conservara las condiciones atmosféricas y la calidad de cilindros de jícama y comparar su efecto en atmósfera activa y pasiva. Tunas de la variedad 'Cristalina' fueron peladas manualmente, sanitizadas y almacenadas en jarras de vidrio bajo un flujo de aire de 30 l/h con 95% HR a 2, 6 y 10°C. Se realizaron evaluaciones diarias de velocidad de respiración, producción de etileno, calidad visual, oscurecimiento, pudriciones, color. Aroma, sabor, y fenoles condensados fueron evaluados en los días 0, 4, 8 y 12. Se estudió el efecto de diferentes atmósferas (aire, 3% O₂, 3% O₂ + 10% CO₂, aire + 10% CO₂ y 10% CO₂) en tunas sin cáscara durante 0, 10, 15 y 20 días a 2°C a través de los mismos parámetros. Cilindros de jícama (5 x 1.8 cm) sanitizados fueron empacados en películas perforadas (CT) o con aire + 10% CO₂ en películas de Polietileno de baja densidad (PE) y dos tipos de películas CRYOVAC (PD y CP) a 5°C. Se evaluó el efecto del almacenamiento en película CP con atmósfera pasiva y activa (aire + 10% CO₂). A través de la concentración interna de CO₂, calidad visual, oscurecimiento, sabor, aroma, color y firmeza los días 0, 8, 12, 16 y 20. En la tuna la velocidad de respiración y producción de etileno se vieron incrementadas con el aumento de la temperatura. A 2°C se observó la menor tasa de respiración y la calidad visual se mantuvo excelente durante doce días, en tanto que a 6 y 10°C el oscurecimiento fue el factor más importante que causó la pérdida de calidad. El contenido de fenoles se incrementó con la temperatura y el tiempo de almacenamiento. Las atmósferas con 10% de CO₂ fueron las que mostraron mejor calidad y de 40 a 80% el contenido de fenoles con respecto a los frutos almacenados en aire. Los cilindros de jícama empacados en película CP mantuvieron mejor la concentración de gases y la calidad visual. No hubo diferencias durante 12 días de almacenamiento en atmósfera activa o pasiva, sin embargo a 16 días el almacenamiento en atmósfera activa conservó mejor la calidad de los cilindros de jícama.

(Palabras clave: Tuna, Jícama, Mínimamente procesado).

SUMMARY

The consumption of cactus pear is limited in part by the defective elimination of the glochids present in the pericarp. This problem is solved with minimally processed fruits. This technology has also been studied in jicama tubers, but there is no information in regard to type of plastic film suitable to maintain the recommended atmosphere. The objectives of this work were: to determine the optimum temperature and atmosphere to preserve minimally processed cactus pear, to select the best film to preserve the atmospheric conditions and quality of minimally processed jicama and to compare its effect on active and passive atmosphere systems. Cactus pears Cv. 'Cristalina' were manually peeled, sanitized with chlorinated water, drained, and stored in glass jars under air flow at 30 l/h 95% RH at 2, 6 and 10°C. Respiration rate, ethylene production, visual quality, browning, rotting, color and weight loss were evaluated daily. Aroma, flavor, texture, soluble solids, sugars content, acidity, pH and condensed phenols were evaluated at 0, 4, 8 and 12 days. Four different controlled atmospheres (air; 3% O₂; 3% O₂ + 10% CO₂; air + 10% CO₂ and 10% CO₂), were studied on cactus pears during 0, 10, 15 and 20 days at 2°C using the same parameters. Jicama cylinders were sanitized, drained, and packed in punctured plastic film (CT), or with air + 10% CO₂ in Polyethylene-Low density (PE) and two plastic films CRYOVAC (PD and CP) and stored at 5°C. CO₂ production, visual quality, browning, dehydration, decays, flavor, aroma, color, firmness and soluble solids were evaluated on 0, 8, 12, 16 and 20 days. Were studied for passive and active atmosphere (air + 10% CO₂). Respiration rate and ethylene production in cactus pear increased with temperature. The lowest respiration rate was observed at 2°C and remained constant during the trial. Excellent visual quality was maintained during 12 days at 2°C while at 6 and 10°C browning caused loss of quality. Atmospheres with 10% of CO₂ showed better quality and reduced 40 to 80% the phenols content respect to the fruits stored in air. Jicama cylinders in CP film maintained better the gases concentration and visual quality. There were not differences in quality in active or passive atmosphere packaging after twelve days. However at 16 days the storage in active atmosphere preserved better the quality of jicama tubers.

(Key Words: Cactus pear, Jicama, Minimally processed).

ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	i
SUMMARY	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
1. INTRODUCCIÓN.	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.	4
2.1. Definiciones, característica e importancia de los productos mínimamente procesados.	4
2.2. Calidad de los productos mínimamente procesados.	5
2.3. Efectos físicos y fisiológicos del procesado mínimo.	6
2.3.1. Inducción de la síntesis de etileno.	7
2.3.2. Degradación de la membrana lipídica.	7
2.3.3. Oscurecimiento oxidativo.	8
2.3.4. Cicatrización de heridas.	9
2.3.5. Pérdida de agua.	9
2.4. Control de deterioro de productos mínimamente procesados.	10
2.4.1. Efecto de la baja temperatura.	10
2.4.2. Efecto de las atmósferas modificadas y controladas.	11
2.4.2.1. Disminución del metabolismo respiratorio.	16
2.4.2.2. Disminución del oscurecimiento en tejido.	17
2.4.2.3. Reducción de la pérdida de agua.	17
2.4.2.4. Reducción de la biosíntesis y acción del etileno.	17
2.4.2.5. Reducción del desarrollo microbiano.	18
2.4.2.6. Disminución de la pérdida de firmeza.	19
2.4.2.7. Atmósferas controladas y su relación con la temperatura.	19
2.5. La tuna como producto potencial para el procesado mínimo.	20

2.5.1. Importancia de la tuna en la producción y comercialización.	20
2.5.1.1. Principales regiones de producción en México y su importancia.	22
2.5.2. Características del fruto.	25
2.5.2.1. Características de la tuna Cv 'Cristalina'.	25
2.5.3. Composición química del fruto.	25
2.5.4. Fisiología y Bioquímica del fruto.	28
2.5.4.1. Patrón de respiración.	28
2.5.4.2. Índices de maduración.	29
2.5.4.3. Cambios bioquímicos durante el desarrollo.	29
2.5.4.4. Cosecha.	30
2.5.5. Conservación del fruto.	31
2.5.6. La jícama como producto potencial para el procesado mínimo.	33
3. OBJETIVOS.	38
3.1. GENERALES.	38
3.2. ESPECÍFICOS.	38
4. MATERIALES Y MÉTODOS.	39
4.1. Efectos de la temperatura y de atmósferas controladas en la calidad de tuna Cv 'Cristalina' mínimamente procesada.	39
4.1.1. Material vegetal	39
4.1.2. Tratamiento del fruto.	39
4.1.3. Preparación de tuna mínimamente procesada.	39
4.2. Experimentos realizados.	40
4.2.1. Efecto de la temperatura sobre la tasa de respiración y producción de etileno.	40
4.2.2. Efecto de la temperatura sobre la calidad global de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada.	40
4.2.3. Efecto de la temperatura sobre la composición de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada.	42

4.2.4. Aplicación de atmósferas controladas en tuna mínimamente procesada.	42
4.2.5. Efectos de atmósferas controladas sobre la calidad global de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada.	43
4.2.6. Efectos de atmósferas controladas sobre la composición de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada.	43
4.3. Métodos empleados.	43
4.3.1. Medición de etileno.	44
4.3.2. Determinación de la velocidad de respiración.	44
4.3.3. Escala subjetiva de calidad para tuna mínimamente procesada.	44
4.3.4. Determinación de pérdida de peso.	45
4.3.5. Determinación de color.	45
4.3.6. Determinación de firmeza.	46
4.3.7. Determinación de Sólidos Solubles Totales (°Bx).	46
4.3.8. Determinación de pH.	47
4.3.9. Determinación de acidez titulable.	47
4.3.10. Determinación de azúcares.	47
4.3.11. Determinación de fenoles.	48
4.4. Selección del tipo de empaque adecuado para almacenar jícama mínimamente procesada con atmósfera de aire + 10% CO ₂ .	50
4.4.1. Material vegetal.	50
4.4.2. Tratamiento de la raíz.	50
4.4.3. Preparación de jícama mínimamente procesada.	50
4.5. Materiales de empaque plástico.	51
4.6. Experimentos realizados.	51
4.6.1. Experimentos realizados con diferentes películas.	51
4.6.2. Experimentos realizados en película CP con atmósfera activa y con atmósfera pasiva.	53
4.7. Métodos empleados.	53
4.7.1. Medición de concentración de gases.	53
4.7.2. Escala subjetiva de calidad para jícama mínimamente procesada.	53

4.7.3. Determinación de color en cilindros de jícama.	54
4.7.4. Determinación de firmeza en cilindros de jícama.	55
4.7.5. Determinación de Sólidos Solubles Totales (°Bx).	55
4.8. Análisis estadístico.	55
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	56
5.1. Tuna mínimamente procesada.	56
5.1.1. Efecto de las temperaturas en la conservación de tuna.	56
5.1.1.1. Comparación de la velocidad de respiración y producción de etileno de tuna mínimamente procesada y el fruto intacto.	56
5.1.1.2. Cambios de calidad visual y color en frutos mínimamente procesados.	60
5.1.1.3. Contenido de fenoles.	64
5.1.1.4. Cambios en el aroma y el sabor.	67
5.1.1.5. Cambios en el contenido de sólidos solubles y azúcares.	67
5.1.1.6. Cambios en el pH y la acidez titulable.	71
5.1.1.7. Textura.	71
5.1.1.8. % de pérdida de peso.	74
5.1.2. Conservación de tuna mínimamente procesada bajo atmósferas controladas.	77
5.1.2.1. Cambios en la calidad visual y el color de tuna mínimamente procesada almacenada en 5 diferentes concentraciones atmosféricas.	77
5.1.2.2. Contenido de fenoles.	80
5.1.2.3. Cambios en el aroma, el sabor y presencia de pudriciones.	82
5.1.2.4. Textura.	84
5.1.2.5. Cambios en el contenido de sólidos solubles y azúcares.	87
5.1.2.6. Cambios en el pH y contenido de acidez.	90
5.1.2.7. % de pérdida de peso.	90
5.2. Conservación de jícama mínimamente procesada en diferentes tipos de empaques.	94
5.2.1. Cambios en la composición de gases.	94

5.2.2. Cambios en la calidad visual, presencia de oscurecimiento y superficie de deshidratación.	94
5.2.3. Presencia de pudriciones en jícama mínimamente procesada almacenada a 5°C en cuatro tipo de películas con aire + 10%CO ₂ .	97
5.2.4. Cambios en la luminosidad, la cromaticidad y el ángulo de matiz.	97
5.2.5. Cambios en el aroma y el sabor.	102
5.2.6. Cambios en la textura.	102
5.2.7. Cambios en el contenido de sólidos solubles.	105
5.3. Almacenamiento de cilindros de jícama mínimamente procesada en película CP con atmósfera pasiva y activa.	109
5.3.1. Comportamiento de la concentración interna de gases.	109
5.3.2. Cambios en la calidad visual, color y superficie de deshidratación en cilindros de jícama.	109
5.3.3. Cambios en la luminosidad, el ángulo de matiz y la cromaticidad en cilindros de jícama almacenados en película CP con atmósfera pasiva y atmósfera activa.	112
5.3.4. Presencia de pudriciones.	116
5.3.5. Cambios en el aroma y el sabor.	116
5.3.6. Textura.	119
5.3.7. Cambios en el contenido de sólidos solubles.	119
6. CONCLUSIONES.	124
7. BIBLIOGRAFÍA.	126
APÉNDICE	136

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página.
1. Condiciones de temperatura y atmósferas controladas para conservar hortalizas mínimamente procesadas.	14
2. Características de tunas cosechadas en México.	21
3. Volumen (Kg) y valor (US\$) de las exportaciones mexicanas de tuna.	23
4. Principales estados productores de tuna en el país.	24
5. Características de la pulpa y cáscara de la tuna (media \pm SD).	27
6. Composición nutrimental de jícama (<i>Pachyrhizus erosus</i>), de acuerdo a diferentes autores.	35
7. Fuerza (N) requerida para romper el tejido de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada a 2°C en diferentes atmósferas controladas. Prueba con cuchilla de 3 mm de espesor.	85
8. Fuerza (N) requerida para romper el fruto de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada y almacenada a 2°C en diferentes atmósferas controladas. Prueba con sonda de 5 cm de diámetro.	86
9. Cambios en el contenido de sólidos solubles en tuna 'Cristalina' mínimamente procesada y almacenada a 2°C en diferentes atmósferas controladas.	88
10. Cambios en el contenido de azúcares en tuna 'Cristalina' mínimamente procesada y almacenada a 2°C en diferentes atmósferas controladas.	89
11. % de pérdida de peso durante el almacenamiento de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada a 2°C en diferentes atmósferas controladas.	92
12. Comportamiento de la concentración interna de gases en cuatro diferentes empaques plásticos durante 16 días.	95
13. Cambios en la luminosidad de cilindros de jícama almacenados a 5°C en cuatro tipo de películas con aire + 10% CO ₂ .	100

14. Cambios en la fuerza (N) necesaria para romper el tejido de cilindros de jícama almacenados a 5°C en cuatro diferentes tipo de empaques.	104
15. Cambios en la distancia al punto de ruptura de cilindros de jícama almacenados durante 16 días a 5°C en cuatro diferentes tipos de empaques.	107
16. Cambios en el contenido de sólidos solubles en cilindros de jícama almacenados a 5°C en cuatro tipo de películas con aire + 10% CO ₂ .	108
17. Cambios en la luminosidad (L*) de cilindros de jícama almacenados a 5°C en película CP con Atmósfera Pasiva y Atmósfera Activa (aire + 10% CO ₂).	113
18. Cambios en el ángulo de matiz en cilindros de jícama almacenados a 5°C en película CP con Atmósfera Pasiva y Atmósfera Activa (aire + 10% CO ₂).	114
19. Cambios en la cromaticidad de cilindros de jícama almacenados a 5°C en película CP con Atmósfera Pasiva y Atmósfera Activa (aire + 10% CO ₂).	115
20. Fuerza (N) necesaria para romper el tejido en cilindros de jícama almacenados a 5°C en película CP con Atmósfera Pasiva y Atmósfera Activa (aire + 10% CO ₂).	120
21. Cambios en el contenido de sólidos solubles de cilindros de jícama almacenados a 5°C en película CP con Atmósfera Pasiva y Atmósfera Activa (aire + 10% CO ₂).	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Esquema general de la fase experimental para tuna mínimamente procesada.	41
2. Esquema experimental para jícama mínimamente procesada.	52
3. Patrón de respiración de tuna 'Cristalina' intacta (A) y mínimamente procesada (B) almacenadas en aire a 2, 6 y 10°C.	57
4. Cambios en la velocidad de producción de etileno en tuna 'Cristalina' intacta (A) y mínimamente procesada (B) almacenadas en aire a 2, 6 y 10°C.	59
5. Calidad visual de la tuna mínimamente procesada a doce días de almacenamiento a diferentes temperaturas.	61
6. Cambios en la calidad visual A) y oscurecimiento B) en tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada en aire a 2, 6 y 10°C.	62
7. Cambios en el valor de a* (A) y el ángulo de matiz (B) durante el almacenamiento en aire a 2, 6 y 10°C de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada.	63
8. Cambios en el contenido de fenoles en tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada en aire a 2, 6 y 10°C.	65
9. Cambios en el aroma (A) y el sabor (B) de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada en aire a 2, 6 y 10°C.	68
10. Cambios en el contenido de sólidos solubles (A) y azúcares (B) de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada en aire a 2, 6 y 10°C.	69
11. Cambios en el pH (A) y el % de ácido cítrico (B) en tuna 'Cristalina' mínimamente procesada y almacenada en aire a 2, 6 y 10°C.	72
12. Fuerza requerida para romper el tejido de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada y almacenada a diferentes temperaturas. Prueba con cuchilla (A) y prueba con sonda plana (B).	73

13. % de pérdida de peso en tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada en aire a 2, 6 y 10°C.	75
14. Calidad visual (A) y oscurecimiento (B) en tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada a 2°C en atmósferas controladas.	78
15. Cambios en el ángulo de matiz (A) y la cromaticidad (B) de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada a 2°C en atmósferas controladas.	79
16. Cambios en el contenido de fenoles en tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada a 2°C en atmósferas controladas.	81
17. Cambios en el aroma (A) y el sabor (B) de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada a 2°C en atmósferas controladas.	83
18. Cambios en el pH (A) y el % de ácido cítrico (B) en tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada a 2°C en atmósferas controladas.	91
19. Cambios en la calidad visual A) y oscurecimiento B) de cilindros de jícama empacados en 4 diferentes películas con aire + 10% CO ₂ y almacenados a 5°C.	96
20. Presencia de pudriciones en cilindros de jícama empacados en 4 diferentes películas con aire + 10% CO ₂ y almacenados a 5°C.	98
21. Cambios en la cromaticidad A) y el ángulo de matiz B) de cilindros de jícama empacados en 4 diferentes tipos de películas con aire + 10% CO ₂ y almacenados a 5°C.	101
22. Cambios en el aroma A) y el sabor B) de cilindros de jícama empacados en 4 diferentes tipos de películas con aire + 10% CO ₂ y almacenados a 5°C.	103
23. Cambios en la distancia al punto de ruptura en cilindros de jícama empacados en 4 diferentes películas con aire + 10% CO ₂ y almacenados a 5°C.	106
24. Cambios en la concentración interna de CO ₂ en el empaque de cilindros de jícama en película CP con atmósfera pasiva y activa (aire + 10% CO ₂) y almacenados a 5°C.	110
25. Cambios en la calidad visual A) y el color B) de cilindros de jícama almacenados a 5°C en película CP con atmósfera pasiva y atmósfera activa.	111

26. Presencia de pudriciones en cilindros de jícama almacenados a 5°C en película CP con atmósfera pasiva y atmósfera activa.	117
27. Cambios en el aroma A) y el sabor B) de cilindros de jícama almacenados a 5°C en película CP con atmósfera pasiva y atmósfera activa.	118
28. Cambios en la distancia al punto de ruptura de cilindros de jícama almacenados a 5°C en película CP con atmósfera pasiva y atmósfera activa.	121
A1. Curva de calibración para determinar la concentración de azúcares.	137
A2. Curva de calibración para la determinación de taninos condensados.	138
B1. Correlación del parámetro de color a* y el contenido de fenoles en tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada a 2°C.	139
B2. Correlación del parámetro de color a* y el contenido de fenoles en tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada a 6°C.	140
B3. Correlación del parámetro de color a* y el contenido de fenoles en tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada a 10°C.	141

1. INTRODUCCIÓN.

Las frutas y hortalizas mínimamente procesadas se definen como aquellos productos preparados mediante una o varias operaciones como pelado, cortado en rodajas, o fragmentación (Wiley, 1997). También se les conoce como ligeramente procesados, prepreparados, precortados, preparados frescos, o parcialmente procesados (Cantwell, 1998); en Europa es más común encontrarlos como productos de cuarta gama (Romojaro et al., 1996).

El principal usuario de los productos mínimamente procesados era la industria de servicio de alimentos, en la actualidad su uso se ha llevado a más consumidores a través de supermercados y tiendas de almacén (Watada et al., 1996). Este tipo de productos tienen amplia aceptación en países como los Estados Unidos, Francia, Reino Unido y Holanda entre otros (Watada et al., 1996). Los productos mínimamente procesados ofrecen ventajas potenciales al consumidor como son: la reducción del tiempo de preparación de alimentos, calidad más uniforme y consistente, incrementan el acceso a los productos de frutas y hortalizas saludables y requieren menos espacio para su almacenamiento.

Entre las hortalizas mínimamente procesadas se pueden citar lechugas, calabazas, zanahorias, cebollas, papas, brocoli y coliflor y entre los frutos se encuentran; duraznos, sandias, melón, manzanas, naranjas y piñas. Su empaque o forma de presentación es a través de películas plásticas combinados con temperaturas inferiores a 10°C (Romojaro et al., 1996) y por lo general tienen una vida de anaquel de 10 a 14 días.

El nopal tunero pertenece a la familia de las cactáceas los cuales son xerotipos subtropicales nativos de América, distribuidas desde Canadá hasta Argentina. Algunas especies del género *Opuntia* producen frutos comestibles, ricos en azúcar y minerales y de un sabor agradable. Las tunas son frutas suculentas, con cáscara gruesa y pulpa jugosa que contienen numerosas semillas (Lakshminarayana y Estrella, 1978).

Durante el ciclo agrícola 1996-1997 se produjeron un total de 311 990 ton. Los estados con mayor producción fueron; México (43.56%), Zacatecas (28.58%), San Luis Potosí (9.20%), Hidalgo (8.68 %) y Puebla (4.24%.) (SAGAR, CEA, 1997).

Una de las variedades con mejores características es 'Cristalina', la cual se produce en la Región Centro-Norte de México. Tiene un peso aproximado de 220 g, contiene numerosas semillas y un alto contenido de azúcares (15.2 °Bx), (Fernández y Mondragón, 1996), la pulpa es blanca, la cáscara es de color verde-amarillo y gruesa (Mondragón, 1993).

Actualmente las tunas se consumen preferentemente en estado fresco; su sabor dulce, poco ácido y su aroma delicado son muy apreciados a pesar de los inconvenientes que ofrecen las pequeñas gloquidas en el pericarpio y la considerable cantidad de semillas (Domínguez-López, 1995). Entre las principales formas de conservación y transformación se tienen la elaboración de diferentes productos, como tunas enlatadas, jugos, jaleas, mermeladas, pasta de tuna, tunas congeladas deshidratadas y vino de tuna (Domínguez-López, 1995); queso de tuna, colonche, melcocha y tunas pasas (Del Castillo y Trujillo, 1991).

Por su lado, la jícama *Pachyrrhizus erosus* (L.) urban, es originaria del centro y sur de México y el norte de Centro América, y su cultivo se remonta a la época de los aztecas (Cotter y Gómez, 1979); actualmente se conocen cinco especies bien definidas y distribuidas desde México hasta Sudamérica. Desde el punto de vista agronómico las de mayor interés son *Pachyrrhizus erosus*, *P. ahipa*, *P. tuberosus* y dos que no se cultivan *P. panamensis* y *P. ferrugineus* (Sorensen, 1990).

Para el ciclo agrícola 1996-1997 la SAGAR, reportó una producción de 86 676 ton; siendo los principales estados productores Nayarit (35.66%), Guanajuato (18.22%), Michoacán (17.21%), Morelos (10.52%), Veracruz (5.61%) y Puebla (5.24%).

La parte importante de la jícama es la raíz que es la parte comestible, es rica en azúcares y agua (hasta 90% de su peso total), y pequeñas cantidades de calcio y hierro. El uso principal de la jícama es como hortaliza fresca. Las raíces se pelan y se cortan en rebanadas y se aderezan con sal, jugo de limón o polvo de chile. También suelen cortarlas en trozos y encurtir las en vinagre, juntamente con chiles, zanahorias, cebollas, etc. (Martínez, 1959, Pintos, 1973).

Dado que México es un fuerte productor de tuna y que esta tiene problemas en su comercialización por la presencia de ahuate; este fruto es un posible producto para aplicarse la tecnología de procesado mínimo. Otras posibles razones para estudiar este tópico en tuna son: incrementar el valor agregado y el acceso a otros nichos de mercado, la posibilidad de extender la vida de anaquel y la utilización de frutos maduros que de otro modo no alcanzarían el mercado. En tanto que para el caso de jícama se requiere de completar los estudios que Aquino-Bolaños (1998) generó respecto de este producto por lo que en este trabajo se planteó estudiar el efecto de la temperatura y las atmósferas controladas en la calidad de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada y del envasado de cilindros de jícamas en diferentes tipos de películas plásticas almacenadas a 5°C con Aire + 10% CO₂; con el fin de conocer los factores básicos que permitan establecer las condiciones más apropiadas para aplicar la tecnología de productos mínimamente procesados.

2. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1. Definiciones, característica e importancia de los productos mínimamente procesados.

Los productos mínimamente procesados son frutas u hortalizas, lavadas, cortadas y preparadas para el consumo directo, también se conocen como frutas o vegetales preparados en forma fresca; ligeramente procesados, mínimamente procesados, prepreparados, precortados, preparados frescos o parcialmente procesados (Cantwell, 1998), en Europa también se les conoce como productos de cuarta gama (Romojaro et al., 1996). El término cortado fresco, es usado para enfatizar claramente las características de frescura de estos productos.

El propósito de los alimentos mínimamente procesados es proporcionar al consumidor un producto frutícola u hortícola muy parecido al fresco con una vida útil prolongada y al mismo tiempo, garantizar la seguridad de los mismos, manteniendo una sólida calidad nutritiva y sensorial (Wiley, 1997).

Del volumen total de este tipo de productos que se comercializa en Estados Unidos, alrededor del 70% lo constituyen las lechugas, calabazas, zanahorias, cebollas, papas, brocoli y coliflor. Los cuales tienen una vida de anaquel de alrededor 10-14 días (Cantwell, 1996a).

Generalmente se supone que las frutas y hortalizas mínimamente procesadas son productos que contienen tejidos vivos o que han sido sólo modificados ligeramente de su estado fresco, siendo en su naturaleza y calidad semejantes a los frescos (Wiley, 1997).

Su preparación involucra varias etapas que pueden ser agrupadas en operaciones unitarias específicas. Cada operación unitaria debe ser llevada a cabo apropiadamente para mantener su calidad, alargar su vida de anaquel y que la seguridad del producto final sea

satisfactoria.

Los productos mínimamente procesados son más perecederos que los productos frescos no procesados (Cantwell, 1992), esto es una consecuencia del daño ocasionado al tejido que resulta de las operaciones de pelado, cortado o rebanado.

2.2. Calidad de los productos mínimamente procesados.

Los requisitos esenciales de las frutas y hortalizas mínimamente procesadas son un alto nivel de calidad con una seguridad higiénica garantizada.

La calidad de frutas y vegetales ligeramente procesados es una combinación de atributos que determinan su valor como alimento humano. Estos factores de calidad incluyen apariencia visual (frescura, color, defectos y pudriciones), textura (turgencia, firmeza, e integridad del tejido), sabor (gusto), valor nutritivo (vitaminas A y C, minerales y fibra dietaria) y seguridad (ausencia de residuos químicos y contaminación microbiana).

Esta calidad depende de la calidad del producto intacto al momento de iniciar la preparación, los métodos de preparación y de las subsecuentes condiciones de manejo después de su preparación (velocidad de enfriamiento, mantenimiento de la temperatura y humedad relativa óptimas y sanitización apropiada) hasta llegar al consumidor (Kader y Mitcham, 1998).

Por ello es importante enfatizar que la calidad de los productos alimenticios mínimamente procesados es dependiente de la temperatura a la que han sido expuestos desde su producción, a lo largo de la distribución y almacenamiento, hasta el consumo.

Para asegurar esa buena calidad de los productos mínimamente procesados, se deben emplear para su elaboración sólo frutos y vegetales intactos de buena calidad.

Entre los factores que influyen en la composición y calidad de los productos intactos se encuentran los genéticos, los precosecha tales como: las condiciones climáticas y las prácticas culturales, el estado del producto en el momento de la cosecha, su manejo desde la cosecha y la preparación y su calidad nutrimental. El tejido cortado puede acelerar la pérdida de vitaminas, especialmente las solubles en agua como la vitamina C (Kader y Mitcham, 1998).

2.3. Efectos físicos y fisiológicos del procesado mínimo.

Las operaciones involucradas en la preparación de frutas y vegetales mínimamente procesados, generalmente incrementan la velocidad de deterioro de los productos.

Los daños mecánicos aceleran la alteración de los productos al romperse la membrana celular y facilitar la acción enzimática, lo que origina reacciones indeseables (Shewfelt, 1987). Dichas roturas celulares se producen durante las operaciones de preparación como el pelado y el cortado, lo que permite que las enzimas se mezclen con sus sustratos y se aceleren los cambios adversos de la calidad.

Entre los efectos causados por el procesamiento se pueden mencionar el incremento en la velocidad de respiración y la producción de etileno y en algunos casos se acelera el proceso de cicatrización de heridas.

Cuando las frutas o vegetales son cortados, rebanados o procesados, se incrementa su velocidad de respiración, la producción de etileno y en algunos casos el proceso de cicatrización de heridas. Esto es debido al incremento del área superficial expuesta a la atmósfera que permite que el oxígeno se difunda más rápidamente en el interior de la célula y al incremento de la actividad metabólica de las células dañadas.

La intensidad de estas respuestas está influenciada por otros factores; como la especie y la variedad del producto, el estado de desarrollo, el tamaño de las heridas, la temperatura a la cual se encuentra el producto, la concentración de O₂ y CO₂ en la

atmósfera, la presión de vapor de agua y la presencia de inhibidores del oscurecimiento o de reacciones enzimáticas.

El incremento en el metabolismo respiratorio está asociado con aumentos en la velocidad de otras reacciones bioquímicas responsables de los cambios de color (incluyendo el oscurecimiento), sabor, textura y calidad nutrimental (Cantwell, 1996b)

Además del incremento de la tasa respiratoria el corte de los productos también provoca daños mecánicos y ablanda el tejido vegetal por ello los tejidos cortados constituyen barreras menos eficaces a la difusión de los gases y toleran concentraciones más elevadas de CO₂ y niveles inferiores de O₂ que los productos intactos. El tejido dañado genera una serie de respuestas como son:

2.3.1. Inducción de la síntesis de etileno.

El aumento la velocidad de producción de etileno, se lleva a cabo en unos pocos minutos después de ocasionada la herida, pero generalmente ocurre en 1 h, con picos entre las 6 y 12 hrs. Los niveles de producción de etileno incrementan en proporción a la cantidad de heridas como lo han determinado Abeles et al. (1992).

En frutos climatéricos las heridas pueden causar incrementos en la producción de etileno, que aceleran el inicio del climatérico, resultando en diferencias en la edad fisiológica entre el tejido intacto y cortado (Watada et al., 1990). El efecto de la herida también difiere entre frutos no climatéricos y climatéricos; mientras que en los primeros el etileno de la herida no afecta la maduración, éste puede acelerar la maduración en frutos climatéricos (Rosen y Kader, 1989).

2.3.2. Degradación de la membrana lipídica.

Rolle y Chism (1987) opinan que las heridas también causan degradación de la membrana lipídica propiciando la degradación enzimática de los sistemas membranales

dañados, causando pérdida de componentes lipídicos y pérdida de compartimentalización de enzimas y sustratos. En opinión de Watada et al., (1990) el etileno inducido por la herida puede jugar un papel en este proceso, al aumentar la permeabilidad de la membrana y reducir la biosíntesis de fosfolípidos.

2.3.3. Oscurecimiento oxidativo.

El oscurecimiento de la superficie cortada es el problema más común en productos ligeramente procesados, siendo en muchos de ellos el factor limitante para su almacenamiento. El corte estimula las enzimas involucradas en el metabolismo de los compuestos fenólicos, induciendo la formación de pigmentos oscuros no deseables.

De acuerdo al conocimiento convencional, el oscurecimiento es una reacción mediada por enzimas la cual ocurre cuando la célula es cortada, la superficie es abierta y los compuestos fenólicos de las vacuolas de las células del producto se mezclan con la enzima polifenol oxidasa (PPO) que en presencia de oxígeno convierte los compuestos fenólicos en pigmentos oscuros (Charley, 1991).

Hay una serie de compuestos fenólicos que pueden servir como sustratos para el oscurecimiento enzimático como la catequina y sus derivados que incluyen la tirosina, el ácido cafeico, el ácido clorogénico, la dopamina y también los aglicones de ciertos flavonoides.

El oscurecimiento del tejido de productos mínimamente procesados es muy severo debido a la gran cantidad de compuestos fenólicos y polifenol oxidasas presentes en los tejidos. Las magulladuras en formas de lesiones oscuras son también resultado de estos eventos mediados por enzimas.

Las heridas también inducen la síntesis de algunas enzimas involucradas en reacciones de oscurecimiento o biosíntesis de sustrato (Rolle y Chism, 1987). La intensidad del oscurecimiento en el tejido puede ser afectada por la actividad relativa de las oxidasas y

concentración de sustrato (Hansche y Boynton, 1986).

La correlación de síntesis de fenoles y cambios de color han sido descritas en varios trabajos. Hyodo et al., (1978) encontraron una alta correlación entre la actividad de fenilalanina amonio liasa (PAL), inducida por etileno, y la aparición del moteado oscuro en hojas de lechuga, sin embargo, Peiser et al., (1998) al estudiar el desarrollo del moteado en híbridos de lechuga, encontraron que este defecto es independiente del incremento de la actividad de PAL y de la concentración de éstos, pero anotan que los compuestos fenólicos contribuyen al subsecuente oscurecimiento.

2.3.4. Cicatrización de heridas.

La cicatrización de la herida es un resultado del metabolismo de los fenoles que resulta en la producción de suberina y lignina y su posterior depositación en la pared celular de las células dañadas, posiblemente seguida por división celular debajo de la capa suberizada para formar peridermo en la herida (Burton, 1982). El primer cambio observable en la superficie cortada es la deshidratación de la primera capa de las células rotas (Brecht, 1995).

La suberización y formación de peridermo en el sitio de herida se ven influidos por las condiciones ambientales alrededor del tejido. Wigginton (1974) reportó que la suberización de papas puede tomar de 3 a 6 semanas a 5°C, 1 a 2 semanas a 10°C y 3 a 6 días a 20°C, mientras que la formación de peridermo en la herida requiere de 4 semanas, 1-2 semanas y 3-5 días respectivamente.

2.3.5. Pérdida de agua.

El cortado del tejido de las frutas acelera la pérdida de agua lo cual puede acelerar el oscurecimiento y el ablandamiento del tejido. Los frutos mínimamente procesados son más susceptibles a la pérdida de agua que muchos productos vegetales mínimamente procesados, porque muchas de las barreras que previenen la pérdida de agua son removidas

durante su procesamiento (Gorny y Kader, 1996).

El tejido de los vegetales tiende a llegar a un equilibrio con la atmósfera externa, bajo las condiciones de temperatura y humedad relativa externa e interna la cual se estima en los tejidos vegetales de 99 a 99.5% (Burton, 1982).

La superficie cortada pierde humedad a una velocidad extremadamente rápida cuando se exponen a una atmósfera menor a la del agua saturada (Burton, 1982). En órganos enteros, el agua de los espacios intercelulares no está directamente expuesta a la atmósfera externa. Sin embargo, el cortado o pelado de frutas o vegetales expone el tejido interno y drásticamente se incrementa la difusión y la velocidad de evaporación de agua.

2.4. Control del deterioro de productos mínimamente procesados.

Una vez definidos los cambios que ocurren en los productos mínimamente procesados al mismo tiempo se han desarrollado procedimientos que controlan este tipo de cambios. Dos factores han sido importantes en el control del deterioro de este tipo de productos: la temperatura y el cambio en la composición de la atmósfera que lo contiene.

2.4.1. Efecto de la baja temperatura.

La mejor ruta para reducir el metabolismo respiratorio y conservar durante el almacenamiento los carbohidratos, ácidos y humedad es reducir la temperatura. Todos los procesos biológicos se llevan a cabo más lentamente a bajas temperaturas y las reacciones metabólicas en frutas y vegetales se ven reducidas en una proporción de 2 a 3 veces por cada 10°C de disminución de la temperatura. En general, todos los productos mínimamente procesados pueden ser almacenados a temperaturas cercanas a 0°C para mantener su calidad y vida de anaquel (Cantwell, 1996b), aunque algunas frutas y hortalizas precortadas (como pepinos, berenjenas, tomates y frutas tropicales ácidas y subtropicales) tienen que manipularse a temperaturas más altas a fin de evitar las lesiones producidas por las bajas temperaturas.

El adecuado control de la temperatura durante el almacenamiento de las frutas y hortalizas mínimamente procesadas puede inactivar o retardar los defectos fisiológicos.

También los productos mínimamente procesados proporcionan el agua y los nutrientes (azúcar, aminoácidos y vitaminas) necesarios para el desarrollo de microorganismos; la temperatura y la humedad relativa son los factores que más afectan el desarrollo de la microflora dentro de un empaque (Brackett, 1987). Para su desarrollo, los microorganismos tienen una temperatura óptima, sin embargo también pueden desarrollarse dentro de cierto intervalo. Si se cambia la temperatura de un producto se puede cambiar la abundancia relativa de diferentes microorganismos (Cantwell, 1998). El crecimiento de microorganismos mesófilos puede ser controlado con la disminución de la temperatura por debajo de 5°C, sin embargo otro grupo importante en los productos mínimamente procesados son los microorganismos psicrótrofos los cuales se desarrollan a bajas temperaturas, como *Listeria monocytogenes* que se desarrolla en varios productos sin ningún signo asociado a la pudrición (Berrang et al., 1989).

2.4.2. Efecto de las atmósferas modificadas y controladas.

El otro factor al cual se ha hecho mención para reducir la velocidad de deterioro de los productos mínimamente procesados es el cambio o control de la composición atmosférica donde se empacan estos productos. La conservación en atmósferas controladas implica un control preciso de las concentraciones de CO₂ y O₂ en el ambiente en el que se encuentra el alimento en tanto que en el empaque en atmósferas modificadas (MAP) (muy utilizado en frutas y vegetales) el producto se encierra en un empaque plástico de permeabilidad determinada y debido al proceso de respiración se modifica la composición de la atmósfera interna inicial, empobreciéndose en O₂ y enriqueciéndose en CO₂ y vapor de agua.

El concepto básico de envasado de alimentos frescos en atmósferas modificadas es la sustitución del aire que rodea al alimento, con una mezcla de gases, en proporción

diferente a la del aire (78.03%N₂, 20.99%O₂, 0.03%CO₂) (Parry, 1995). Existen dos modalidades de envasado en atmósferas modificadas; atmósferas modificadas activa y pasiva (Zagory y Kader, 1988). El envasado en atmósfera modificada pasiva implica colocación de los productos en un envase permeable a los gases, cerrado del envase y a continuación permitir que la propia respiración de los productos origine una reducción de la concentración de O₂ y un aumento del CO₂ dentro del envase hasta que se alcance un adecuado estado de equilibrio. El envasado en AM activo implica la colocación de los productos en un envase permeable a los gases, la evacuación del aire del envase y su sustitución mediante una corriente con una mezcla preseleccionada de los gases O₂, CO₂ y N₂ (Smith et al., 1990) seguido por un cierre rápido del envase.

Por ello los materiales de envasado alimentario deben cumplir además de las funciones de contener al producto, prevenir o retardar la pérdida de calidad del mismo, proporcionar protección frente a la contaminación ambiental y facilitar su transporte y venta (Crosby, 1981). También deben de contribuir a mantener las condiciones de atmósfera modificada.

La combinación de gases a utilizar depende de muchos factores, como el tipo de producto, el material del envase y la temperatura de almacenamiento.

La composición de gases a utilizar se obtiene a partir de experimentos previos para encontrar los niveles óptimos de O₂ y CO₂ [con un balance de nitrógeno (N₂)] que disminuyan la velocidad de la respiración y la tasa de deterioro del producto en particular o de las mezclas de productos mínimamente procesadas que estén siendo envasadas (Schlimme y Rooney, 1997).

Existen tres tipos de mezclas de gases que son utilizadas para el envasado en atmósfera modificada (Goodburn y Halligan, 1988):

- 1) Cobertura inerte
- 2) Atmósfera semi-activa (CO₂/N₂, O₂/CO₂/N₂)

3) Atmósfera completamente activa (CO_2 o CO_2/O_2)

En términos generales las atmósferas que generalmente son benéficas para productos mínimamente procesados contienen 2-8% de oxígeno y de 5 a 15% de bióxido de carbono (Cuadro 1).

Las frutas y vegetales varían en su sensibilidad y tolerancia a bajos niveles de O_2 y elevados de CO_2 . Esto es muy importante para definir las condiciones óptimas para seleccionar la película de empaque del producto de interés. Las principales variables que afectan el empaque en atmósferas modificadas son:

a) Velocidad de respiración del producto; esta es fuertemente dependiente de la temperatura y varía con el producto, la variedad, estado de madurez, atmósfera y condiciones fisiológicas.

b) Temperatura. Tanto la velocidad de respiración del producto y la permeabilidad de la película se incrementan con el aumento de la temperatura.

c) Permeabilidad de la película. La permeabilidad es una medida de la velocidad a la cual los gases pasan a través de la película plástica. Esta es usualmente expresada en unidades de $\text{ml/m}^2\text{-día-atm}$ (mililitros de gas por metro cuadrado de superficie de película por atmósfera por día). Cuando se aplica al O_2 , la permeabilidad es llamada como la velocidad de transmisión de oxígeno (OTR).

d) Area de superficie de la película. La cantidad de gas que se mueve a través de la película aumenta con la superficie.

Cuadro 1. Condiciones de temperatura y atmósferas controladas para conservar hortalizas mínimamente procesadas.

Producto	Temperatura (°C)	Átmósferas		Eficacia
		% O ₂	% CO ₂	
Betabel (rojo), cubos o pelado	0-5	5	5	moderada
Brócoli, flores	0-5	2-3	6-7	buena
Cebollas, rodajas o cubos	0-5	2-5	10-15	buena
Champiñones, rebanados	0-5	3	10	no recomenda do
Chile, cubos	0-5	3	5-10	moderado
Col (china), rebanada	0-5	5	5	moderada
Col, rebanada	0-5	5-7.5	15	buena
Espinaca, sanitizada	0-5	0.8-3	8-10	moderado
Lechuga (hoja roja), cortada	0-5	0.5-3	5-10	buena
Lechuga (hoja verde), cortada	0-5	0.5-3	5-10	buena
Lechuga (Iceberg), cortada	0-5	0.5-3	10-15	buena
Lechuga (romana), cortada	0-5	0.5-3	5-10	buena
Papas, rodajas o peladas enteras	0-5	1-3	6-9	buena
Tomate, rodajas	0-5	3	3	moderado
Zanahoria, rebanadas o discos	0-5	2-5	15-20	buena

Gorny, 1997.

e) Espesor de la película. El gas se mueve más lentamente a través de una película gruesa que a través de una delgada (Zagory, 1998).

f) Peso del producto. Una etapa muy importante en el empaque de productos mínimamente procesados es manejar la cantidad correcta de producto en el empaque. La correcta combinación del material de empaque, peso del producto y composición de gas en el empaque son componentes críticos que deben ser determinados para cada producto para mantener su calidad y extender su vida de anaquel.

g) El cierre apropiado de las bolsas es crítico para mantener la calidad del producto, una bolsa con un sellado imperfecto puede tener altas concentraciones de oxígeno y acelerar el oscurecimiento (Gorny, 1998).

Entre las películas comúnmente empleadas para el envase en atmósfera modificada se incluyen: el policloruro de vinilo, polipropileno, poliestireno, nylon y el polietileno utilizado para proporcionar el medio de sellado, en los que sus propiedades de barrera dependen del espesor (Greengras, 1995). La vida útil alcanzable por un producto empaquetado en atmósfera modificada es inversamente proporcional a la intensidad de la respiración.

Es importante que las películas plásticas utilizadas en el empaque en atmósferas modificadas de productos frescos y de productos mínimamente procesados tengan una relación de permeabilidad de CO_2 a O_2 relativamente alta. De esta forma se permite que disminuya la concentración de O_2 sin que sea excesiva la acumulación de CO_2 dentro del envase (Kader et al., 1989). Aunque la permeabilidad a los gases de los polímeros usados en empaque en atmósferas modificadas muestran diferencias substanciales, la relación de permeabilidad del CO_2 respecto del O_2 normalmente se encuentra entre 4 y 6 (Mannapperuma y Singh, 1990).

Puesto que el control de la humedad relativa dentro del envasado en atmósferas modificadas, tanto de productos frescos como de los mínimamente procesados, tiene gran

importancia para minimizar el crecimiento y difusión de los gérmenes y en consecuencia extender su vida útil, es muy importante seleccionar las películas que exhiban de moderada a alta permeabilidad al vapor de agua (a las temperaturas normales de almacenamiento de estos productos), así como unas velocidades adecuadas de transmisión de O_2 y CO_2 .

El empaque de productos mínimamente procesados en películas poliméricas permeables y contenedores semirrígidos conteniendo concentraciones reducidas de O_2 y elevadas de CO_2 en la atmósfera de empaque, disminuyen los cambios degradativos de la calidad e incrementan la vida de anaquel del producto.

2.4.2.1. Disminución del metabolismo respiratorio.

Uno de los principales efectos de las atmósferas modificadas sobre el metabolismo de frutas y hortalizas es el descenso de la tasa respiratoria con una disminución en el consumo de sustratos, producción de CO_2 , consumo de O_2 y desprendimiento de calor. Como resultado se frena el metabolismo e incrementa la vida de conservación.

La disminución de la intensidad respiratoria depende fundamentalmente de la especie y de la composición gaseosa en el interior del envase cuando se alcanza la atmósfera de equilibrio.

La disminución de la intensidad respiratoria de los productos sometidos a atmósfera modificada es proporcional a la concentración de oxígeno, aunque es necesario que ésta no sea inferior al 3%, pues de lo contrario se iniciará el metabolismo anaerobio, con descarboxilación de ácido pirúvico a acetaldehído y CO_2 y finalmente formación de etanol. Este nivel crítico de O_2 depende esencialmente de la especie, variedad, temperatura y tiempo de conservación (Romojaro et al., 1996).

Los niveles altos de CO_2 pueden afectar la respiración, cuando la concentración es del orden del 20% y dependiendo del tipo de material vegetal y el contenido de O_2 , se puede inducir la respiración anaerobia.

Los efectos de bajas concentraciones de O₂ y elevadas de CO₂ sobre la respiración son aditivos (Kader et al., 1989).

2.4.2.2. Disminución del oscurecimiento en tejido.

Al reducir la concentración de oxígeno en el empaque de productos mínimamente procesados por modificación de la atmósfera puede reducirse significativamente la velocidad de oscurecimiento, por que la enzima polifenol oxidasa (PPO) requiere de oxígeno para inducir el oscurecimiento.

Al ser el O₂ sustrato no sólo de la citocromó oxidasa, enzima implicada en el proceso de respiración, sino también de numerosas oxidasas tales como: ascorbico oxidasa, fenolasa, peroxidasa, AIA-oxidasa, lipooxygenasa, aminooxidasa, citocromo P480, bajas concentraciones del mismo pueden modificar también los metabolitos en los que intervienen estas enzimas. Atmósferas altas en CO₂ han mostrado un retardo en el oscurecimiento de lechugas cortadas.

2.4.2.3. Reducción de la pérdida de agua.

El uso de materiales de empaque retarda la pérdida de humedad ayudando de esta manera a mantener la calidad sensorial. Cisneros-Zevallos et al., (1995) reportan que seleccionando un empaque apropiado se puede reducir la capa blanca, formada a causa de la deshidratación, en la superficie de zanahorias peladas.

2.4.2.4. Reducción de la biosíntesis y acción del etileno.

La conversión del ácido-1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) en etileno y su metabolización cuando se une a los receptores sólo puede producirse en presencia de CO₂. Por ello, niveles bajos de este gas pueden inhibir la acción de la ACC-oxidasa, aumentando los niveles de ACC y atenuando el fenómeno de la producción autocatalítica de etileno y limitando el incremento de la actividad ACC-sintetasa, al ser inducida su síntesis por la

hormona de la maduración.

Las investigaciones realizadas sobre conservación en atmósferas controladas (AC) y atmósferas modificadas (AM) con bajos niveles de O_2 han puesto de manifiesto que en general se observa una disminución de la producción de etileno, ACC conjugado y de la actividad de las enzimas ACC-oxidasa y ACC-sintetasa y un aumento de los niveles de ACC libre.

El CO_2 es considerado como un inhibidor competitivo de la acción del etileno. En tejidos vegetativos, el CO_2 acelera la metabolización del etileno en óxido de etileno y la inhibición competitiva se situaría a nivel de un sistema que condujera la oxidación completa de etileno en CO_2 (Hall et al., 1982).

2.4.2.5. Reducción del desarrollo microbiano.

La composición de la atmósfera puede afectar el crecimiento de microorganismos. Los organismos aeróbicos requieren oxígeno para crecer, mientras que los anaerobios pueden crecer en ausencia de oxígeno. Algunas bacterias son anaerobias facultativas indicando que ellas pueden crecer con o sin oxígeno. Cambiando la concentración de CO_2 se puede también afectar el crecimiento de microorganismos. Los hongos son relativamente sensibles a concentraciones mayores de 5% de CO_2 , mientras que las bacterias pueden variar en su respuesta.

La modificación de la atmósfera puede retardar la aparición de esporas pero no necesariamente reducir el crecimiento microbiano (Cantwell, 1998).

2.4.2.6. Disminución de la pérdida de firmeza.

La pérdida de textura se ve frenada por determinadas atmósferas, al hacer más lentos los fenómenos degradativos de la pared celular. En efecto se limita la rotura de las cadenas de pectina al reducirse la actividad de las enzimas pépticas. Las concentraciones altas de CO₂ retrasaron el ablandamiento en chirimoya, al disminuir la actividad de la poligalacturonasa (Del Cúra et al., 1996).

2.4.2.7. Atmósferas controladas y su relación con la temperatura.

Un buen manejo de temperatura con altas concentraciones de CO₂ generalmente se consideran como una combinación efectiva para retardar el crecimiento microbiano en productos mínimamente procesados.

De acuerdo con O'Beirne (1990), la disminución de la temperatura de los productos reduce la respiración por un factor de 2-3 ($Q_{10}= 2-3$) y el uso de envasado apropiado en atmósfera modificada puede reducir la velocidad de respiración hasta un 400 %. Sin embargo, se reconoce que el envasado en atmósfera modificada no es un mecanismo de sustitución del control adecuado de la temperatura (Hotchkiss, 1988).

Con un excelente control de la temperatura, la atmósfera modificada puede ser utilizada para inducir una mayor reducción de la velocidad de respiración, pérdida de humedad, producción de etanol, calor, amarillamiento, oscurecimiento, pudriciones y sensibilidad al etileno.

Por lo anteriormente descrito, la aplicación de la tecnología de productos mínimamente procesados implica lograr un buen control de los factores de deterioro a través de determinar la mejor temperatura para su conservación así como la mejor concentración de gases de la atmósfera que se pretende aplicar.

2.5. La tuna como producto potencial para el procesado mínimo.

2.5.1. Importancia de la tuna en la producción y comercialización.

México es seguramente el país más rico en especies de *Opuntia* (aproximadamente 110), con un vasto germoplasma que es prácticamente desconocido (Fernández y Mondragón, 1996).

En general el nopal y otras cactáceas crecen bien en lugares donde las temperaturas medias anuales se aproximan a los 23 °C. Las poblaciones silvestres se distribuyen principalmente en zonas con precipitación media anual de 150 ó más milímetros, en climas semiseco o esteparios y con lluvias escasas (Sistema- Producto Nopal y Tuna 1992).

La tuna, está cobrando mayor importancia a nivel mundial con el acceso agresivo de países como Italia, Sudáfrica, Chile e Israel, a los mercados Europeos y los Estados Unidos de América (E. U. A.). Se perfila una enconada lucha competitiva de México con estos países para dominar en los mercados externos.

La producción de tuna es una actividad que se practica en Chile, Argentina, México, E. U. A., Sudáfrica, Marruecos, Argelia, Libia, Túnez, Egipto, Israel, e Italia (Flores-Valdez et al., 1995). Existen seis países que producen tuna y concurren al mercado internacional: México, Italia, Sudáfrica, Chile, Israel y E. U. A.

En cuanto a superficie, México es el principal productor con 50,000 ha, a continuación se ubican Italia con 2,500 ha, Sudáfrica 1,500 ha, Chile 1,000 ha, Israel 300 ha y E. U. A. 200 ha. La mayoría de los países basan su producción en una sola variedad; en cambio, México cuenta con una gran riqueza varietal que le permite ofrecer al mercado tunas blancas, amarillas, anaranjadas y rojas, lo que muestra una gran oportunidad para México de liderar los mercados internacionales de este producto (Flores-Valdez et al., 1995) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características de tunas cosechadas en México.

VARIEDAD	COLOR CASCARA	COLOR PULPA	FORMA	RECEP- TACULO	CONSISTEN CIA DE LA PULPA	EPOCA DE COSECHA
Reyna	Verde- amarilla	Blanca	Periforme aplanada	Plano liso	Jugosa	Jul-ago
Cristalina	Verde- amarilla	Blanca	Periforme pedunculada	Hueco liso	Jugosa	Ago-sep
Esmeralda	Verde- amarilla	Blanca	Periforme aplanada	Hueco liso	Jugosa	Ago-sep
Burrona	Verde- amarilla	Blanca	Periforme aplanada	Plano rugoso	Jugosa	Agosto
Chapeada	Rosa-amarilla	Blanca	Periforme aplanada	plano rugoso	Jugosa	Jul-ago
Fafayuco	Amarillo-café	Blanca	Periforme aplanada	Plano con estrias radiales	Jugosa	Sep-oct
Naranjona	Anaranjada	Anaranjada	Periforme aplanada	Plano liso	Jugosa	Agosto
Centenario	Anaranjada	Anaranjada	Abobada	Hueco liso	Jugosa	Agosto
Amarilla	Amarillo- anaranjada	Anaranjada	Periforme aplanada	Hueco liso	Jugosa	Agosto
Roja pelona	Verde-roja	Roja	Periforme aplanada	Plano	Semisólida	Agosto
Charola	Púrpura	Púrpura	Abobada	Combado	Semisólida	Sep-nov
Cardona	Púrpura	Púrpura	Esferoidal aplanada	Hueco estriado	Semisólida	Jul-Sep

Mondragón, 1993.

El mercado mundial de la tuna fresca es un mercado fragmentado con características de nichos de mercado. El principal exportador mundial es Italia, que exporta más del doble de lo que exporta México, especialmente al mercado europeo y norte de Africa. Otros exportadores importantes, además de México, son Sudáfrica y Chile. El mercado de Estados Unidos constituye el principal destino de las exportaciones de tuna mexicana y ha crecido significativamente. El mercado canadiense es errático con volúmenes poco significativos pero es el segundo mercado en importancia para las exportaciones de tuna mexicana. Los demás mercados son esporádicos y circunstanciales, con la excepción de Japón, que constituye el tercer mercado en importancia (Cuadro 3).

2.5.1.1. Principales regiones de producción en México y su importancia.

En la producción de tuna en México participan 17 estados; sin embargo, sólo en ocho se concentran 87% de la superficie y el 96% de la producción. Estos ocho estados se agrupan en tres regiones de producción (Flores-Valdez et al., 1995):

Región Sur;	Puebla
Región Centro;	Edo. de México e Hidalgo
Región Centro- Norte;	Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato, Jalisco y Aguascalientes.

Durante 1997 la superficie sembrada de nopal tunero fue de 44 830 ha, la superficie cosechada de 39 942 ha; se obtuvo una producción de 311 990 ton, con un valor aproximado de 373.5 millones de pesos (SAGAR, CEA, 1997).

En el Cuadro 4 se muestra la producción, el porcentaje de la producción y el valor de la misma para los principales estados productores, los cuales aportan el 94.26% de la producción total.

Cuadro 3. Volumen (Kg) y valor (US\$) de las exportaciones mexicanas de tuna.

País de destino	1993		1994		1995	
	volumen	valor	volumen	valor	volumen	valor
Alemania	0	0	10	16	0	0
Belice	40	80	0	0	0	0
Canadá	30 557	39 660	33 600	36 960	15 220	21 906
E.U.A.	1 837 923	870 739	2 062 010	999 551	746 061	391 647
Francia	830	1 707	685	1 707	734	1 473
Japón	974	3 100	1 352	5 940	257	894
Reino Unido	0	0	10	16	0	0
Suiza	0	0	0	0	15	11
Total	1 870 324	915 286	2 097 667	1 044 193	762 287	415 931

Nota: Las exportaciones de 1995 son sólo hasta septiembre de 1995. SECOFI

Cuadro 4. Principales estados productores de tuna en el país.

Estado	Producción (ton.)	% de la producción total	Valor de la producción (millones de pesos)
México	135 890	43.56	109
Zacatecas	89 045	28.58	161
San Luis Potosí	28 703	9.20	27
Hidalgo	27 106	8.68	29
Puebla	13 228	4.24	28

Centro de Estadística Agropecuaria, SAGAR. 1997.

2.5.2. Características del fruto.

La tuna es una baya polispérmica, carnosas ovoide o piriforme de dimensiones variables (entre 5 a 10 cm de largo por 4 a 8 cm de diámetro) con la epidermis normalmente poblada de pequeñas espinas llamadas glóquidas y cuya pulpa, que puede ser blanca, amarilla, naranja, roja o púrpura se origina de células papilares de la epidermis dorsal, de la envoltura fonicular y el funículo es siempre jugoso y con numerosas semillas (Granados-Sánchez y Castañeda-Pérez, 1991).

La envoltura fonicular contribuye con 90% de la parte comestible y el funículo con el 10% (Pimienta et al., 1985).

El fruto maduro tiene un peso entre 100 - 200 g del cual un 30 al 40% de este peso corresponde a la cáscara, 60- 70% al jugo y 5- 10 % a la semilla. Es importante señalar que los frutos de color verde claro son de mayor tamaño en comparación a las especies rojas y anaranjadas.

2.5.2.1. Características de la tuna Cv 'Cristalina'.

Se produce en la Región Centro-Norte de México, es tardía para la zona, madura entre agosto y octubre, con su pico de producción en el mes de septiembre. El fruto es grande con un peso aproximado de 220 g, tiene un gran número de semillas y un buen contenido de azúcares (15.2 °Bx), (Fernández y Mondragón, 1996), su pulpa es blanca, la cáscara es de color verde-amarillo y gruesa lo que le permite una mayor vida poscosecha y posibilidades de transporte a grandes distancias (Mondragón, 1993).

2.5.3. Composición química del fruto.

La tuna se puede dividir en tres partes atendiendo al modo de consumo tradicional

del mismo: cáscara (pericarpio), pulpa (funículo) y semillas. El porcentaje de cada una de ellas, en el fruto maduro, depende básicamente de la especie, pero en general los valores oscilan entre 40-52%, 30-57% y 7-10% de cáscara, pulpa y semilla, respectivamente (Piña-Luján, 1970; Lercker et al., 1976; Sawaya et al., 1983; Russell y Felker, 1987; Sepúlveda y Sáenz, 1990; Granados-Sánchez y Castañeda-Pérez, 1991).

Los principales componentes de la pulpa del fruto son agua (85%) y carbohidratos(10-15%), (Fernández y Mondragón, 1996; Mondragón, 1993).

La composición química de las tunas es parecida a la de muchos otros frutos frescos tales como el durazno, el mango o la papaya; es pobre en proteína, rica en azúcares y contiene una cantidad considerable de vitamina C y minerales tales como el potasio y el fósforo.

En el Cuadro 5, se muestran el pH, acidez y azúcares característicos de la pulpa y cáscara de las tunas. La pulpa es típicamente baja en acidez y su pH es cercano a la neutralidad; las características de la cáscara pueden ser semejantes a las de la pulpa, a diferencia de que éstas tienen una cantidad menor de azúcares.

Cuadro 5. Características de la pulpa y cáscara de la tuna (media±SD).

	Pulpa	Cáscara
pH	6.04 ± 0.34	5.52 ± 0.14
Acidez (% ác. cítrico)	0.06 ± 0.05	0.17
Sólidos solubles (°Bx a 20°C)	13.87 ± 1.34	9.96 ± 2.36
Viscosidad (m Pa s)	129.45 ± 55.6	-
Glucosa (g/100g materia húmeda)	7.19 ± 1.07	2.27 ± 1.36
Fructosa (g/100g materia húmeda)	6.15 ± 1.86	1.80 ± 1.12
Sacarosa (g/100g materia húmeda)	0.08 ± 0.08	0.32 ± 0.18
Glucosa/Fructosa	1.23 ± 0.23	1.37 ± 0.57

Fuentes: Lakshminarayana et al., (1979), Sawaya et al., (1983), Russell y Felker (1987), Sepúlveda y Sáenz (1990), Ewaidah y Hassan (1992), Crivelli y Nani (1993), Joubert (1993).

2.5.4. Fisiología y Bioquímica del fruto.

2.5.4.1. Patrón de respiración.

La tuna presenta un ciclo corto con un tiempo de desarrollo de 120 días aproximadamente después de su amarre, mientras que la formación de la flor dura 55 días, (Alvarado y Sosa, 1978). Sin embargo se han reportado tiempos de seis meses de maduración después del amarre reconociéndose por el cambio de color que presenta el fruto en este período; es necesario considerar que la maduración es dependiente de la variedad del fruto, condiciones edafológicas así como ambientales del lugar, (Borrego et al., 1986). Durante el desarrollo de la semilla, dentro del fruto se generan estímulos propios del crecimiento los cuales influyen en la maduración del mismo. Esta maduración es provocada por cambios en la estructura y metabolismo del tejido en donde se involucran procesos anabólicos y catabólicos que se reflejan con la variación de la composición química durante la maduración.

Las tunas son frutas no climatéricas (Lakshminarayana y Estrella, 1978; Lakshminarayana et al., 1979; Cantwell, 1991). Presentan alta velocidad de respiración desde el amarre la cual disminuye en las siguientes dos semanas, esto es producido por efecto de la polinización y fertilización, sin embargo esta velocidad de respiración se estabiliza cuando se presenta la actividad embrionaria de la semilla (Alvarado y Sosa, 1978). La respiración disminuye con el tiempo y no es diferente para frutas cosechadas a diferentes estados de maduración (Cantwell, 1991). La velocidad de producción de etileno es muy baja y permanece igual aún cuando se cosechan en diferente periodo de maduración y solo existe un incremento ligero durante el almacenamiento (Cantwell, 1995).

Lakshminarayana y Estrella (1978), indicaron a partir de los coeficientes respiratorios que las tunas utilizan un sustrato complejo compuesto de ácidos orgánicos y azúcar.

2.5.4.2. Índices de maduración.

Como índices de madurez para cosecha comercial, se ha recomendado utilizar la gravedad específica, el contenido de sólidos solubles, así como la profundidad del receptáculo, (Borrego et al., 1986).

Entre los posibles índices de cosecha cabe destacar el cambio de color de la cáscara (verde-amarillo, verde-naranja, verde-rojo) el aumento progresivo de la relación entre el peso del funículo (pulpa, semilla y jugo) y el peso del pericarpio, la acumulación de azúcares, que tiene lugar en las 4 últimas semanas de desarrollo del fruto; el aumento en sólidos solubles; la disminución de la acidez (de 0.15% de ácido cítrico inicial a 0.03% final en *O. amyclaea*.); el aumento en ácido ascórbico (hasta 40 mg/100g de materia fresca en *O. hyptiakantha*, 30 mg en *O. inermis* y *O. ficus-indica* y 10 mg en *O. lindehimeri*); el incremento en el peso seco de las semillas (en *O. lindehimeri* llegan a representar el 6% del peso del fruto a los 150 días del desarrollo del mismo); el grosor del pericarpio (en el momento de la cosecha el diámetro transversal del funículo representa el 90% del diámetro total del fruto en la especie *O. ficus- indica*); la firmeza del fruto (4.4 - 5.9 bar de resistencia a la penetración en frutos maduros de especie *O. ficus- indica*) y la densidad (los frutos con una densidad mayor que 1, indicativo del estado inicial de madurez, se sumergen en el agua), (Lakshminarayana et al., 1979; Barbera et al., 1992, Kuti, 1992).

2.5.4.3. Cambios bioquímicos durante el desarrollo.

Los cambios en los componentes químicos y materia seca siguen la misma tendencia, con un cambio abrupto entre los 50 y 70 días después de la floración y ligeras fluctuaciones durante los 30 días después de la maduración del fruto. El contenido de azúcar total incrementa hasta la madurez de cosecha. El contenido de materia seca permanece constante después de 70 días de la floración. El contenido de humedad del corazón a la madurez de cosecha es constante al 85%.

En relación con los componentes volátiles se determinó que la variedad mexicana llamada tuna de 'Castilla', el 95% de la totalidad de estos está representado por 61 compuestos diferentes y el 5% restante lo integran otros 45 a 55 tipos de moléculas. Así mismo, el 84% de la cantidad total de volátiles son alcoholes, principalmente etanol, el 3% son ésteres y el 0.5% son aldehídos y cetonas (Domínguez-López, 1995).

El estado de madurez en el momento de la cosecha influye en las cantidades de sustancias responsables del aroma presentes en el fruto. Frutos cosechados en un estado maduro presentan una mayor cantidad de estos compuestos que aquellos cosechados al inicio de la fase de maduración, especialmente se encontró que el (E)-6-nonen-1-ol se presenta sólo en frutos maduros (Di Cesare et al., 1993).

2.5.4.4. Cosecha.

En general, la cosecha de las tunas se realiza manualmente; un trabajador puede coleccionar entre 100 y 150 kg por día. La operación consiste en tomarlos por la parte media y hacerlos girar más de 90° a fin de evitar el desgarramiento de la epidermis y de arrancarlos eficientemente de la planta. Brutsch y Zimmermann (1993) y Lara-López (1993). Sugieren que para desprender el fruto de la planta es suficiente con aplicar un par de aproximadamente 1Nm (un newton-metro) alrededor del eje longitudinal del mismo. Otra manera de cosechar manualmente las tunas es desprenderlos de la planta mediante una navaja cortando una parte del cladodio al que se encuentran adheridas. Con esta práctica se reduce el daño puesto que no se le aplica ninguna fuerza y se incrementa la conservación poscosecha considerablemente.

Experimentalmente se han desarrollado algunas herramientas que permiten que el trabajador se mantenga alejado de la planta y por lo tanto, no expuesto a los daños que pueden causar las espinas. Recientemente se han diseñado dos brazos mecánicos (accionados manualmente), uno capaz de provocar una torsión al fruto y el otro concebido para cortar una parte pequeña de la raqueta junto con la tuna (Lara-López, 1993).

2.5.5. Conservación del fruto.

Después de la cosecha las tunas se acondicionan para su comercialización. Las operaciones fundamentales consisten en la eliminación de las espinas, el envasado y el almacenamiento (Domínguez-López, 1995).

Las tunas son frutos altamente perecederos y tienen una corta vida de almacenamiento (Lakshminarayana y Estrella, 1978)

Las tunas se comportan como frutos no climatéricos durante un período de almacenamiento de 15 días a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ y 60- 70% de humedad relativa (HR), éstos manifiestan una pérdida significativa de sólidos solubles, acidez y azúcares totales pero muestran un aumento en su contenido de ácido ascórbico (Lakshminarayana et al., 1979; Chessa y Barbera, 1984).

Los frutos cosechados al inicio de la madurez muestran mejores aptitudes al almacenamiento refrigerado, resisten más los daños por frío y el ataque microbiológico y desarrollan ampliamente sus características organolépticas y comerciales que aquellos cosechados en completa madurez o al contrario, muy verdes. Su temperatura crítica varía entre 5°C y 8°C . Temperaturas inferiores, por ejemplo entre 0°C y 3°C (dentro de un período de 6 semanas a 95-98% HR.), provocan alteraciones significativas en sus características organolépticas, la consistencia de la pulpa se vuelve harinosa y se manifiestan grandes daños por frío identificables por la aparición de manchas oscuras sobre el pericarpio. Temperaturas superiores, por ejemplo 15°C , permiten una disminución de este tipo de alteraciones, pero se incrementa el riesgo de desarrollo de microorganismos. Los hongos *Penicillium* y *Alternaria* se manifiestan desde la segunda semana de conservación en estas condiciones.

Castillo y Pimienta (1990) estimaron alrededor de 15% de pérdidas poscosecha. Una de las principales causas de daño es provocada por el ataque de enfermedades (*Fusarium spp.*, *Alternaria spp.*, *Chlamydomyces spp.*, y *Penicillium spp.*) en la base del

fruto, lugar donde se corta para su cosecha (Guzmán, 1982), otras causas son la pérdida de firmeza (Cantwell, 1995) y la pérdida de peso (Cantwell, 1992). Se recomienda almacenar los frutos de 5-8 °C para obtener una vida de anaquel de 3-4 semanas (Cantwell, 1991). Chávez-Franco y Saucedo-Veloz (1985) reportaron daños en frutos de *O. amyclaea* y *O. ficus-indica* almacenados a 8 ó 10 °C por 15 días. En atmósfera normal se pueden conservar los frutos durante aproximadamente 60 días. La atmósfera controlada permite una mejor conservación; por ejemplo, a 5 °C y una concentración en el ambiente de 2% de O₂ y 2-5% de CO₂ las características típicas de dureza, acidez y dulzor del fruto se conservan durante más de 2 meses [Lakshminarayana y Estrella (1978), Chessa y Barbera (1984) y Barbera et al., (1993)].

Actualmente las tunas se consumen preferentemente en estado fresco; su sabor dulce, poco ácido y su aroma delicado son muy apreciados a pesar de los inconvenientes que ofrecen las pequeñas espinas de su pericarpio y la considerable cantidad de semillas (Domínguez-López, 1995).

Las técnicas de transformación tradicional de la tuna se practican básicamente en México. Entre las más importantes cabe destacar la elaboración de queso de tuna, que es una pasta endurecida obtenida por la ebullición de la pulpa filtrada del fruto de la especie *O. streptacantha* hasta la máxima concentración; el colonche, bebida fermentada de bajo contenido alcohólico; la miel de tuna, jarabe obtenido por la concentración del jugo; la melcocha, una especie de mermelada; las tunas pasas o frutos secos (Del Castillo y Trujillo, 1991).

Entre las principales formas de conservación y transformación actuales se han propuesto la elaboración de diferentes productos, tunas enlatadas, jugos, jaleas y mermeladas, pasta de tuna, tunas congeladas deshidratadas y vino de tuna (Domínguez-López, 1995).

Otras alternativas han sido la producción de etanol por medio de la fermentación, aprovechando los azúcares del fruto (a nivel experimental se ha obtenido un rendimiento de

5.45 ml por cada 100 ml de jugo integral utilizando una cepa comercial de *S. cerevisiae*) (Retamal et al., 1987); o bien la obtención de colorantes.

Otra alternativa en proceso de estudio es la extracción a nivel industrial de la enzima invertasa b-fructofuranosidasa.

Por lo anteriormente expuesto, la elaboración de tuna mínimamente procesada es otra alternativa que puede ser viable para impulsar su comercialización especialmente en mercados donde la presencia de sus espinas puede ser un defecto importante para su aceptación. Por ello este trabajo pretende estudiar las condiciones óptimas de temperatura y atmósferas controladas que sirvan de base para el desarrollo de este tipo de productos.

2.5.6. La jícama como producto potencial para el procesado mínimo.

La palabra jícama es una alteración del nombre indígena Xicamatl (raíz acuosa de ombligo). La jícama de agua conocida también como chata de agua, pertenece a la familia de las Leguminosas, cuyo nombre botánico es *Pachyrrhizus erosus* (L) Urban. Está es una planta de tallos rastreros o algo trepadora, vellosos y pueden alcanzar una altura de unos 5 metros, y que parten de una raíz vivaz, gruesa, oval o globosa (Martinez, 1959).

Es originaria del centro y sur de México y el norte de Centro América, que fue cultivada por las culturas mesoamericanas. Los primeros exploradores españoles y portugueses la llevaron a varias regiones de Latinoamérica y a muchas islas del pacífico.

Actualmente la jícama se cultiva en México, Brasil, Estados Unidos (Florida y Hawaii), China, India Indonesia Filipinas y en Nigeria, pero en casi todos los casos se trata de un cultivo subexplotado (Casanueva, 1995). En nuestro país su cultivo se remonta a la época de los aztecas (Cotter y Gómez, 1979) y actualmente se conocen cinco especies bien definidas y distribuidas desde México hasta Sudamérica. Desde el punto de vista agronómico las de mayor interés son *P. erosus*, *P. ahipa*, *P. tuberosus* y dos que no se cultivan *P. panamensis* y *P. ferrugineus* (Sorensen, 1990).

La parte importante de la jícama es la raíz que es la parte comestible, es rica en azúcares y agua (hasta 90% de su peso total), y pequeñas cantidades de calcio y hierro. Las raíces alcanzan su desarrollo óptimo en tres a cuatro meses, pero pueden dejarse en el campo hasta por medio año (INEGI, 1997); éstas varían en forma y tamaño; las hay ovales, piriformes y achatado globosas de 6 a 15 cm de diámetro, pero a veces hasta 25 o algo más, siendo más estimadas las achatadas y de mayores dimensiones. Por fuera tienen un color blanquizco o amarillento sucio y por dentro de un color blanco translúcido, de sabor dulzón, algo amiláceo (Martínez, 1959).

En todos los casos las raíces tienen una corteza delgada y fácilmente desprendible, cuyo color varía de café oscuro a café claro. En su interior son de color blanco translúcido de textura crujiente succulenta y sabor levemente dulce.

Desde el punto de vista nutricional, la jícama (*P. erosus*) es una buena fuente de vitamina C, tiamina y riboflavina. También contiene minerales como el fósforo, calcio, hierro y cobre. En el Cuadro 6 se muestra su composición nutrimental.

La jícama se cultiva en alturas desde 0 hasta 1700 m. sobre el nivel del mar; en lugares tropicales como Veracruz y Nayarit y en lugares semicálidos como el Bajío, Morelos y Oaxaca.

En la actualidad el cultivo de la jícama se encuentra ampliamente distribuido en la República Mexicana bajo diferentes sistemas de producción, adquiriendo cada vez mayor importancia debido al creciente aumento en las exportaciones realizadas principalmente a los Estados Unidos de Norteamérica.

Considerando el aspecto socioeconómico, en la región del Bajío, este cultivo resulta importante porque aproximadamente un 50% de los productores corresponde a familias de escasos recursos económicos denominados medieros; de este modo, la explotación del recurso se realiza hasta cierto punto bajo el sistema de producción tradicional en asociación

Cuadro 6. Composición nutrimental de jicama (*Pachyrhizus erosus*), de acuerdo a diferentes autores.

Constituyentes	Intervalo	Valor promedio
Humedad (%)	78.0-94.0	87.0
Proteína (g)	1.0-2.2	1.3
Lípidos (g)	0.0-0.8	0.2
Carbohidratos (g)	4.6-14.9	9.9
Almidón (g)	2.1-10.7	7.5
Azúcares reductores (g)	1.7-3.4	2.4
Fibra (g)	0.6-1.4	0.7
Cenizas (g)	0.3-0.8	0.5
Minerales		
Calcio (mg)	4.0-27.0	15.7
Fósforo (mg)	15-19	16.8
Hierro (mg)	0.2-0.8	0.63
Cobre (mg)	0.43	0.43
Sodio (mg)	6.0	6.0
Potasio (mg)	175.0	175.0
Vitaminas		
Retinol (A)	Trazas	Trazas
Tiamina (B1)	0.03-0.05	0.06
Riboflavina (B2)	0.02-0.1	0.02
Acido ascórbico (C)	14.0-22.0	17.7
Niacina	0.2-0.3	0.2
Energía (cal)	22.0-58.0	39.3

Sørensen, (1996)

con frijol y maíz, pues dicho sistema brinda al campesino la oportunidad de obtener productos para autoconsumo, a) frijol en una fase inicial y, b) maíz en una etapa intermedia, antes de efectuarse la cosecha del cultivo principal, posteriormente, con la venta de la jícama, se obtienen ingresos para conseguir otros satisfactorios (Heredia-Zepeda, 1996).

Para el ciclo agrícola 1996-1997 la SAGAR, reporta una superficie sembrada de 3 996 ha, obteniéndose una producción de 86 676 ton; entre los principales estados productores se encuentran: Nayarit (35.66%), Guanajuato (18.22%), Michoacán (17.21%), Morelos (10.52%), Veracruz (5.61%) y Puebla (5.24%); los cuales participan con 31 000, 16 000, 15 000, 9 000, 4 900 y 4 500 ton respectivamente.

El uso principal de la jícama es como hortaliza fresca. Las raíces se pelan y se cortan en rebanadas y se aderezan con sal, jugo de limón o polvo de chile. También suelen cortarlas en trozos y encurtir las en vinagre con chiles, zanahorias, cebollas, etc. (Martínez, 1959, Pintos, 1973). En algunos países, las raíces son hervidas para sopa o cocidas como cualquier otra verdura, con la ventaja de que, a diferencia de la mayoría de los cultivos de raíz, su textura crujiente se conserva aún después de la cocción. En Filipinas es uno de los ingredientes favoritos para la preparación de "rollos de huevo con verduras frescas", preparación conocida localmente como "lumpiang sariwa" (Casanueva, 1995). La pulpa de la jícama además de consumirse como verdura fresca, es fuente potencial para la elaboración de jugos porque conservan su aroma y sabor frescos después de ser almacenados a 4°C durante dos meses (Juárez y Paredes-López, 1994).

Durante su almacenamiento, la jícama sufre diversos cambios que deterioran su calidad; el grado de deterioro está influenciado por la variedad, el tiempo, la HR y la temperatura a la cual es almacenada, existen estudios en los que se ha tratado de controlar estos cambios y por consiguiente incrementar su vida poscosecha.

Los problemas más comunes en poscosecha de jícama, son el brotado durante el almacenamiento, desarrollo de pudriciones y deshidratación (Bruton, 1983; Paull y Chem,

1988, Cantwell et al., 1992).

Como producto procesado esta raíz ha sido poco estudiada y hay escasos reportes al respecto, la deshidratación osmótica y congelación para conservarla (Juárez, 1994), la obtención de jugo de jícama por ultrafiltración (Juárez y Paredes-López, 1994).

El procesado mínimo de jícama ha sido estudiado por Aquino-Bolaños (1998) quien reporta que puede ser almacenada durante 12 días a 5°C y bajo una atmósfera de Aire con 10% CO₂. Asimismo Amador-Vargas (1999) trabajando con jícama procedente de Morelos y Michoacán reporta que independientemente de la relación área/ volumen de la jícama ésta puede conservar su calidad durante 12 días de almacenamiento a 2°C.

No obstante estos estudios hasta el momento no se han aplicado estas condiciones para conservar este producto en una película plástica que mantenga lo más posible esas condiciones; por lo que el presente trabajo pretende estudiar diferentes tipos de empaques sobre la conservación de jícama mínimamente procesada.

3. OBJETIVOS.

3.1 GENERALES.

Determinar la temperatura y la composición de la atmósfera de almacenamiento más adecuadas para la conservación de la calidad de la tuna 'Cristalina' (*Opuntia sp*) mínimamente procesada.

Seleccionar el tipo de empaque que mejor conserve la atmósfera de aire + 10% CO₂ a 5°C y que ayude a mantener la calidad de cilindros de jícama.

3.2 ESPECÍFICOS.

- Evaluar el efecto de tres temperaturas (2, 6, y 10 °C) en la calidad de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada.

- Evaluar la influencia de 5 diferentes atmósferas modificadas en la conservación de tuna (*Opuntia sp*) Cv 'Cristalina' mínimamente procesada.

- Evaluar la calidad de cilindros de jícama (*P. erosus*) almacenados a 5°C, en 4 diferentes empaques con aire + 10%CO₂.

- Comparar la calidad de cilindros de jícama almacenados en el empaque seleccionado con atmósfera pasiva y con atmósfera de aire + 10%CO₂.

4. MATERIALES Y MÉTODOS.

4.1. Efectos de la temperatura y de atmósferas controladas en la calidad de tuna Cv 'Cristalina' mínimamente procesada.

4.1.1. Material vegetal.

Se utilizaron tunas de la variedad 'Cristalina' cultivadas en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). "Campo Experimental del Norte de Guanajuato" (CENGUA) fueron cosechadas y desespínadas manualmente en agosto - octubre de 1998 y transportadas en cajas de madera al Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Poscosecha de Frutas y Hortalizas del Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos de la Facultad de Química en la Universidad Autónoma de Querétaro.

4.1.2. Tratamiento del fruto.

En el laboratorio se seleccionaron aquellas tunas en estado de madurez fisiológica que estuvieran libres de defectos visuales, como daño mecánico y pudriciones. Se almacenaron en cámara de refrigeración a 10°C durante 24 horas.

4.1.3. Preparación de tuna mínimamente procesada.

Las tunas intactas fueron lavadas con agua potable, inmediatamente después, se lavaron con una solución de hipoclorito de sodio conteniendo 1000 ppm de cloro libre (pH 7). Posteriormente se les eliminó el pericarpio manualmente utilizando cuchillos de acero inoxidable; las tunas sin cáscara se colocaron en una charola puesta sobre hielo para mantener la temperatura baja.

Las tunas sin cáscara se sumergieron durante 15 segundos en una solución de

hipoclorito de sodio a una concentración de 50 ppm de cloro libre (pH 7) . Se eliminó el exceso de agua con tela absorbente (manta de cielo) y se colocaron en frascos de vidrio de 1.5, 3 y 15 lt.

4.2. Experimentos realizados.

En la Figura 1 se muestran de manera resumida los diferentes experimentos realizados enfocados a la investigación de los efectos de la temperatura y de atmósferas controladas en la calidad de tuna mínimamente procesada.

4.2.1. Efecto de la temperatura sobre la tasa de respiración y producción de etileno.

Se colocaron individualmente tunas sin cáscara en frascos de vidrio de 1.5 lt; tres de estos frascos para cada temperatura estudiada (2, 6 y 10 °C) se conectaron a un sistema de respiración con una corriente de aire húmedo para evitar su deshidratación. A las mismas temperaturas se colocaron tunas intactas en tres recipientes de vidrio, para cada temperatura, los cuales también fueron conectados a un flujo de aire humidificado a una velocidad de flujo de 30l/h.

Se realizaron evaluaciones diarias tomando muestras del aire del espacio de cabeza tanto de los recipientes que contenían las tunas sin cáscara como de aquellos que contenían las tunas intactas, para determinar su contenido de CO₂ y etileno.

4.2.2. Efecto de la temperatura sobre la calidad global de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada.

Tres frascos de vidrio de 3 lt, por cada temperatura estudiada y conteniendo 3 tunas sin cáscara cada uno, fueron conectados a un flujo de aire, a temperaturas de 2, 6 y 10 °C.

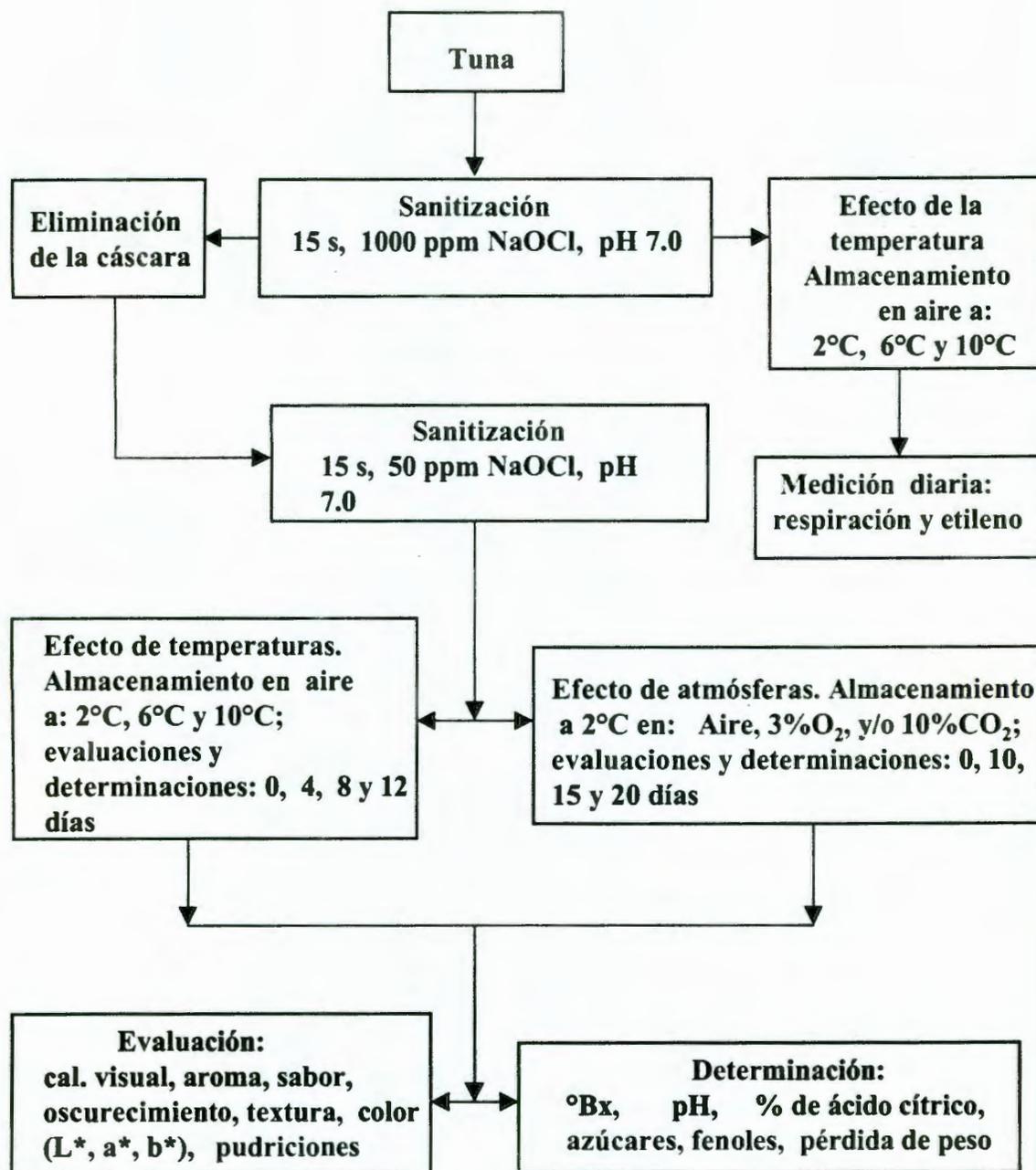


Figura 1. Esquema general de la fase experimental para tuna mínimamente procesada.

Un frasco extra fue seleccionado para realizar evaluaciones diarias para calidad visual, oscurecimiento, pudriciones y color. Los días 0, 4, 8 y 12 se realizaron evaluaciones por triplicado para aroma, sabor y firmeza.

4.2.3. Efecto de la temperatura sobre la composición de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada.

A las mismas tunas utilizadas para estudiar el efecto de la temperatura sobre la calidad global se le realizaron evaluaciones para % pérdida de peso, sólidos solubles (°Bx), acidez titulable (% ácido cítrico), azúcares, pH y fenoles, en los días 0, 4, 8 y 12.

4.2.4. Aplicación de atmósferas controladas en tuna mínimamente procesada.

Con la información obtenida en la sección anterior (4.4.1) y basados en la información citada en la literatura para otros productos mínimamente procesados, se decidió utilizar las siguientes condiciones de atmósferas controladas, aplicadas a la mejor temperatura obtenida en la sección 4.5.2.

- Aire (control)
- 3% O₂
- 3% O₂ + 10 % CO₂
- Aire + 10% CO₂
- 10% CO₂

Estas atmósferas fueron obtenidas mediante la mezcla de aire, bióxido de carbono y nitrógeno (para balance al 100%) controlando los flujos necesarios a través de capilares de diferentes diámetros.

4.2.5. Efectos de atmósferas controladas sobre la calidad global de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada.

Un frasco de vidrio de 15 lt para cada condición atmosférica conteniendo veinticuatro tunas sin cáscara fue conectado a un tren de respiración que permitía el flujo de aire con la mezcla deseada.

Seis tunas de cada tratamiento fueron analizadas para calidad visual, pudriciones, oscurecimiento, aroma, sabor, color y textura en los días 0, 10, 15 y 20.

4.2.6. Efectos de atmósferas controladas sobre la composición de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada.

De las mismas seis tunas utilizadas en la sección anterior (4:4.2.1) para cada día de análisis (0, 10, 15 y 20) se tomaron muestras para investigar los efectos de las atmósferas controladas sobre los diferentes parámetros de composición [% pérdida de peso, sólidos solubles (°Bx), azúcares, acidez titulable (% ácido cítrico), pH, y fenoles].

4.3. Métodos empleados.

4.3.1. Medición de Etileno.

Las mediciones se realizaron individualmente en tres tunas para cada tratamiento (2°, 6° y 10 °C). Cada tuna fue colocada dentro de un frasco de vidrio de 1.5 lt sellado. Después de 1hr se tomó 1 ml de gas del espacio de cabeza y se inyectó a un cromatógrafo de gases Varian modelo 3700 (Varian Associates, Inc. Walnut Creek, CA), equipado con una columna empacada DEGS con 10% de carbowax (Alltech Associates, Inc. Deerfield, IL, USA) de 1/8" D:I x 2m; utilizando nitrógeno como vehiculo, con una velocidad de flujo de 60 ml/min, hidrógeno 40 ml/min y aire 80 ml/min. Se usó un detector de ionización de flama y un integrador Varian 4400 (Varian Associates, Inc. Walnut Creek, CA. USA), las condiciones de integración fueron; velocidad de la carta 0.5 cm/min y atenuación 1, un

tiempo de corrida de 5 min. La temperatura del horno fue 60 °C, para el inyector y 80°C para el detector. El equipo fue calibrado con un patrón de etileno de 10.4 ppm.

Cálculo de la velocidad de producción de etileno.

$$\text{nL de Etileno} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} = \frac{\text{Lectura (nL/mL)} \cdot \text{Espacio de cabeza (mL)}}{\text{Peso muestra (g)} \cdot \text{Tiempo (hr)}}$$

4.3.2. Determinación de la velocidad de respiración.

A las muestras encerradas para la determinación de etileno se determinó la concentración de CO₂ utilizando un analizador de gases NITEC.

Cálculo de la velocidad de respiración.

$$\text{ml CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} = \frac{\text{conc. CO}_2 (\%) \cdot \text{espacio de cabeza (ml)}}{\text{peso muestra (g)} \cdot \text{tiempo (hr)}}$$

4.3.3. Escala subjetiva de calidad para tuna mínimamente procesada.

Las escalas de estimación se utilizan para expresar la severidad de un defecto, para comparar grados de severidad o para expresar numéricamente la calidad de un producto (Lipton, 1980).

Los tres primeros parámetros fueron evaluados utilizando las escalas citadas por Portela et al., (1997). Las cuales se expresan de la siguiente forma:

1. Calidad visual. Fue evaluada con la escala de 9 a 1, donde: 9 = Excelente, esencialmente libre de defectos; 7 = Bueno, defectos menores; 5 = Regular, defectos leves o moderados; 3 = Pobre, defectos excesivos y 1 = Extremadamente pobre, rechazado.

2. Oscurecimiento. Se calificó en una escala del 1 a 9, donde: 1 = Nada o no se presenta, 3 = Ligero, 5 = Moderado, 7 = Severo y 9 = Extremo.

3. Aroma. Se evaluó en una escala de 5 a 1, donde: 5 = Integro u olor característico, 3 = Moderado y 1 = Pérdida completa de olor característico.

4. Pudriciones. Se evaluó con la escala establecida para lechugas por Ramsey et al., (1959). La escala fue de 1 a 9, donde: 1 = Nada o no se presenta, 3 = Ligero, 5 = Moderado, 7 = Severo y 9 = Extremo.

5. Sabor. La escala empleada para la evaluación fue la descrita por Abbott, (1973) para manzanas. En donde: 9 = Gusta completamente, 7 = Gusta moderadamente, 5 = Gusta débilmente, 3 = Insípido o disgusta ligeramente y 1 = Disgusta totalmente.

4.3.4. Determinación de pérdida de peso.

Se registró el peso de los frutos cada día y se graficó la pérdida de peso en relación al peso original.

4.3.5. Determinación de color.

Se determinaron los parámetros L^* , a^* y b^* , con los cuales se calcularon el ángulo de matiz y la cromaticidad utilizando un colorímetro Minolta modelo 2002, con iluminante A y observador a 10° .

En el espacio de color CIE 1976 (L^* , a^* , b^*), o CIELAB, el coeficiente de luminosidad L , tiene un intervalo de negro=0 a blanco=100. Las coordenadas (a^* , b^*) localizan el color sobre una coordenada rectangular perpendicular a L^* . El color en el origen ($a^*=0$, $b^*=0$) es acromático (gris). Sobre el eje horizontal X, a^* positivo indica las tonalidades de rojo y a^* negativo, las tonalidades de verde. Sobre el eje vertical, b^* positivo indica amarillo y b^* negativo, azul (Minolta Corporation Manual, 1994).

McGuire (1992) reportó que puede tenerse una forma más adecuada para medir el color, con el cálculo del ángulo de matiz (h°) y la cromaticidad (C^*), estos dos parámetros

son índices análogos a la intensidad y saturación de color. Los parámetros son calculados a partir de a^* y b^* .

Cromaticidad $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ y representa la hipotenusa de un triángulo rectángulo creado por los puntos $(0,0)$, (a^*, b^*) y $(a^*, 0)$.

El ángulo de matiz puede ser definido como el ángulo que forma la hipotenusa de un triángulo rectángulo con el eje a^* y se define como $h^\circ = \tan^{-1}(b^*/a^*)$. Para efecto de interpretación, el ángulo de matiz h° , oscila entre 0° y 360° (0° = rojo, 90° = amarillo, 180° = verde y 270° = azul).

4.3.6. Determinación de firmeza.

Las determinaciones de textura se hicieron en un analizador de textura TA-TX2 Stable Micro Systems. Dado que no hay un procedimiento convencional para medir los cambios de textura en frutos de tuna; se llevaron a cabo dos tipos de pruebas, la primera de ellas fue una prueba de corte utilizando una cuchilla de filo plano de 3 mm de espesor y 7 cm de ancho registrándose la fuerza necesaria para romper el fruto. La otra medición consistió en una prueba de compresión utilizando una sonda cilíndrica plana de área mayor al punto de contacto (5 cm) y registrándose la fuerza máxima que provocó la ruptura del fruto. Estas pruebas se llevaron a cabo a una velocidad de 1 mm/seg y una distancia de viaje de 8 mm.

4.3.7. Determinación de Sólidos Solubles Totales ($^\circ$ Bx).

Se tomaron alícuotas del jugo de la pulpa y se determinaron directamente los $^\circ$ Bx en un refractómetro "ATAGO", previamente calibrado con agua destilada a temperatura constante (20°C).

4.3.8. Determinación de pH.

Se pesaron 10 g de tuna, se homogeneizaron con 100 ml de agua destilada utilizando un homogeneizador ULTRA-TURRAX T25, se filtró y se tomó la lectura en un potenciómetro previamente calibrado:

4.3.9. Determinación de acidez titulable.

Se realizaron las determinaciones siguiendo el método (942.15) del AOAC (1997); muestras de 10 g de pulpa se homogeneizaron con 100 ml de agua destilada en un homogeneizador ULTRA - TURRAX T25, se filtró, y se titularon alícuotas de 25 ml con NaOH 0.1N, utilizando 0.3 ml de solución de fenolftaleína al 1% como indicador.

La acidez titulable se expresó convencionalmente en g de ácido cítrico por cada 100 g o ml de muestra , utilizando la siguiente formula:

$$\% \text{ de ac. cítrico} = \frac{N(\text{NaOH}) \times \text{ml NaOH} \times 0.213 \times 100}{\text{ml jugo titulado}}$$

4.3.10. Determinación de azúcares.

Las determinaciones se realizaron siguiendo el método espectrofotométrico descrito por Buysee Mercky (1993) el cual se basa en la formación de un compuesto colorido de los azúcares simples en presencia de fenol en un medio ácido leyendo su absorbancia a 490 nm.

Preparación de reactivos.

a) Solución de fenol al 80% .

Se disolvieron 4 g de fenol en 1 ml de agua.

b) Etanol al 95%.

Extracción y cuantificación de azúcares en la muestra.

Se tomaron 2 g de tejido fresco y se homogeneizaron con 11 ml de etanol al 95% en un homogeneizador ULTRA-TURRAX T25. Se dejó reposar a -20 °C durante 12 hr, pasado este tiempo, se filtró al vacío con papel Whatman No 1, se tomó 1 ml del extracto y se diluyó a 200X.

Del extracto diluido se tomó 1 ml y se le adicionó 100 µl de fenol al 80%; inmediatamente después se le adicionaron 5 ml de ácido sulfúrico concentrado y se homogeneizó por 30 segundos, se incubaron los tubos en un baño de agua a 30°C por 20 minutos. Se determinó la absorbancia con un espectrofotómetro a 490 nm de longitud de onda.

La cuantificación de los azúcares totales se realizó utilizando una curva estándar de 0 a 1000 µg de glucosa/ml (Fig A1).

4.3.11. Determinación de fenoles.

Se realizó por el método espectrofotométrico modificado de la vainillina para taninos condensados descrito por Butler y col., (1982).

Preparación de reactivos.

Reactivo 1. Acido clorhídrico al 8% en ácido acético glacial.

Se tomaron 8 ml de ácido clorhídrico y se le adicionaron 92 ml de ácido acético glacial.

Reactivo 2. Vainillina al 1% en ácido acético glacial.

Se pesó 1g de vainillina y se aforó con ácido acético glacial a 100 ml en un matraz

volumétrico.

Reactivo 3. Ácido acético glacial con hasta 6% de metanol.

Se tomaron 94 ml de ácido acético y se le adicionaron 6 ml de metanol.

Reactivo 4. Acido clorhídrico al 4% en ácido acético glacial

Se mezclaron volúmenes iguales del reactivo 1 y de ácido acético glacial puro.

Reactivo 5. Reactivo de vainillina.

El día del uso se mezclaron volúmenes iguales del reactivo 1 y 2, para obtener un reactivo con HCl al 4% y vainillina al 0.5% en ácido acético glacial.

Extracción y cuantificación de fenoles en las muestras.

Se tomaron muestras de la pulpa de las tunas, se congelaron a -80°C en un congelador REVCO y se liofilizaron.

Se pesaron 0.30 g de la muestra liofilizada y se homogeneizaron con 20 ml del reactivo 3 y se les aplicó reflujo para la extracción de los fenoles.

El extracto y los reactivos se atemperaron a 30°C antes de iniciar. Al tiempo cero se adicionaron 5 ml de reactivo de vainillina (reactivo 5) a 1 ml del extracto y se mezclaron.

La mezcla se mantuvo a 30°C por 5 min y se le determinó la absorbancia en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 510 nm.

Los tubos se envolvieron en papel aluminio para evitar el efecto de la luz.

Blanco reactivo.

Se realizó un blanco reactivo para detectar reacciones falsas positivas. A 1 ml del

extracto se le adicionaron 5 ml de ácido clorhídrico al 4% en ácido acético glacial (reactivo 4), se mezclaron, se mantuvieron a 30°C por 5 min y se les determinó la absorbancia a 510 nm.

La cuantificación de los fenoles se expresó como μg de (+) catequina por g de materia liofilizada utilizando una curva estándar de 0 a 42 $\mu\text{g}/\text{ml}$ de catequina (Fig. A2).

4.4. Selección del tipo de empaque adecuado para almacenar jícama mínimamente procesada con atmósfera de aire + 10% CO₂.

4.4.1. Material vegetal.

Jícamas provenientes del estado de Morelos fueron adquiridas en la central de abastos de la ciudad de Querétaro y transportadas al laboratorio antes citado.

4.4.2. Tratamiento de la raíz.

En el laboratorio se seleccionaron aquellas raíces que estuvieran libres de defectos visuales, como daño mecánico y pudriciones. Se almacenaron durante 24 horas a temperatura ambiente (18-22°C).

4.4.3. Preparación de jícama mínimamente procesada.

Las raíces fueron lavadas con agua potable, se cortaron las partes terminales dejando una pieza ecuatorial de aproximadamente 5 cm de altura. Se obtuvieron cilindros de 1.8 cm de diámetro y aproximadamente 5 cm de largo, utilizando un sacabocados de acero inoxidable; las piezas obtenidas se colocaron en una charola puesta sobre hielo para mantener la temperatura baja.

Los cilindros obtenidos se sumergieron durante 15 segundos en una solución de hipoclorito de sodio a una concentración de 50 ppm de cloro libre (pH 7). Se eliminó el

exceso de agua con tela absorbente (manta de cielo) y se colocaron en charolas de unicel, empacándose en diferentes tipos de películas plásticas. Todo el material utilizado en la preparación de las muestras se sanitizó con una solución de hipoclorito de sodio de 100 ppm de cloro libre (pH 7).

4.5. Materiales de empaque plástico.

El material de empaque fueron bolsas de polietileno de baja densidad (PE) y dos tipos de películas plásticas (PD-961 y CP) las cuales fueron proporcionadas por la empresa CRYOVAC (Sealed Air de México, S.A. de C. V.). La película de polietileno de baja densidad fue de calibre 150 (1.5 milésima de pulgada de espesor) con una permeabilidad al O_2 de 1.62×10^6 ml.mil. $cm^{-2} h^{-1} atm^{-1}$ y al CO_2 de 2.38×10^5 ml. mil. $cm^{-2} h^{-1} atm^{-1}$ (Exama et al., 1993); veinte películas CP fueron perforadas y utilizadas como control (CT). La película PD-961EZ fue de calibre 125 (equivalente a 1.25 milésimos de pulgada) una permeabilidad al oxígeno de 6,000-8,000 $cc/m^2 /24hrs.$ (73°F., 1 atm) , la película CP tuvo una permeabilidad al oxígeno de 300 $cc/pulgada^2 /24hrs$ (medidas a 46.4 °F., 1 atm de presión).

4.6. Experimentos realizados.

En la Figura 2 se muestran de manera resumida los diferentes experimentos realizados para seleccionar el tipo de empaque adecuado para almacenar jícama mínimamente procesada y para comparar el efecto de la atmósfera activa y pasiva sobre la calidad de jícama mínimamente procesada empacada en película CP.

4.6.1. Experimentos realizados con diferentes películas.

Veinte películas de cada tipo (PE, PD, PC, y PC con perforaciones), fueron selladas conteniendo una charola con diez cilindros de jícama cada una. Se les inyectó la mezcla de gases correspondiente a la atmósfera adecuada (Aire + 10% CO_2) para la conservación de la calidad de jícama mínimamente procesada (Aquino-Bolaños, 1998), dejando salir

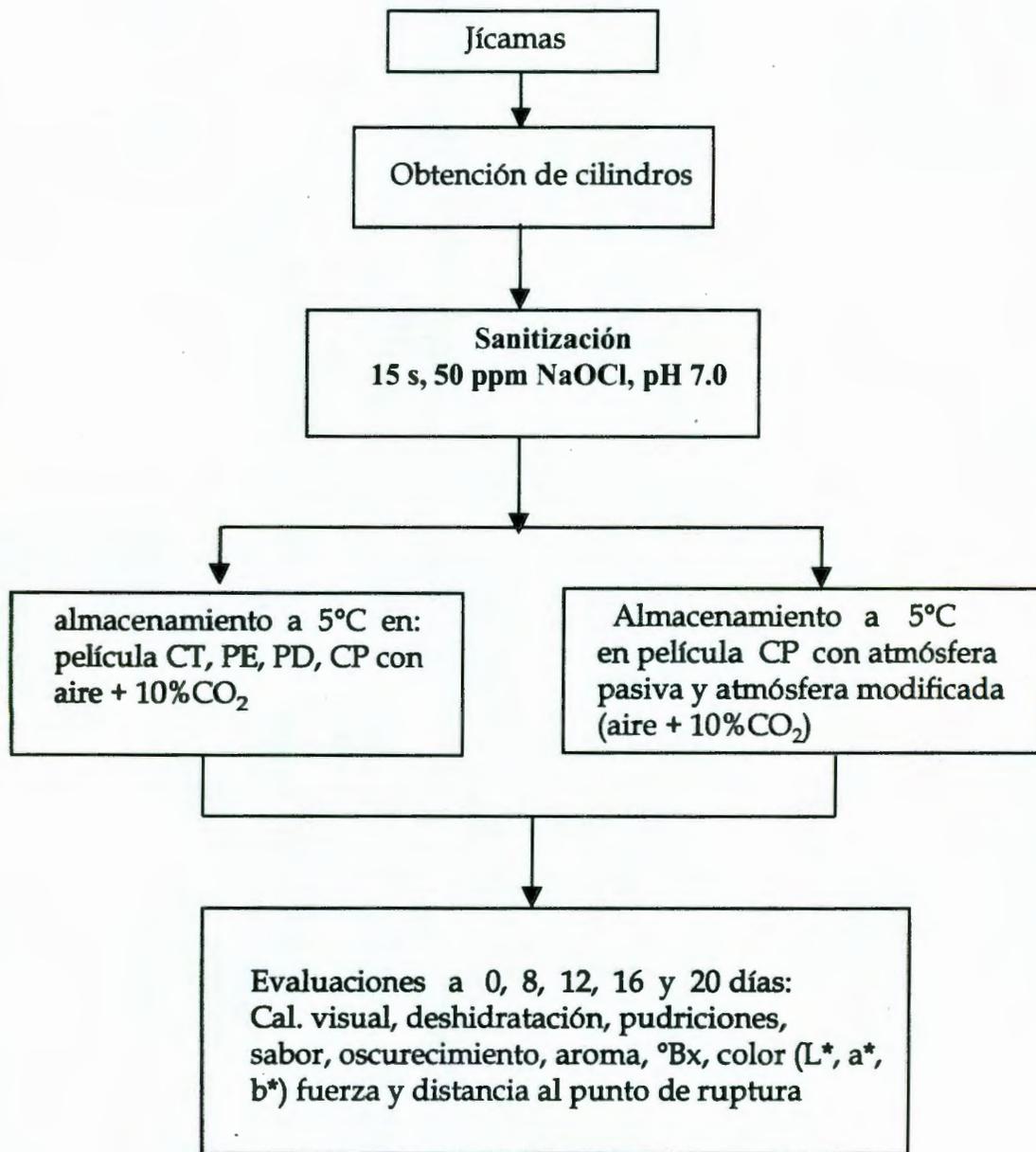


Figura 2. Esquema experimental para jícama mínimamente procesada.

esta mezcla durante un tiempo de 5 minutos para desplazar el aire existente en el producto empacado. Al día cero se tomaron cinco charolas (50 cilindro) para ser analizados. También se realizó el análisis los días 8, 12 y 16 para cinco charolas empacada con cada tipo de película estudiada.

Los parámetros evaluados fueron calidad visual, oscurecimiento, deshidratación, pudriciones, sabor, olor, color, firmeza; así como sólidos solubles ($^{\circ}\text{Bx}$) y composición de gases.

4.6.2. Experimentos realizados en película CP con atmósfera activa y con atmósfera pasiva.

Después de seleccionar el tipo de película que mejor ayudó a conservar la atmósfera de Aire + 10% CO_2 , se realizaron experimentos para comparar la calidad de los cilindros empacados en ésta película en atmósfera activa y atmósfera pasiva.

Los parámetros de calidad evaluados fueron los mismos que los citados en la sección anterior (4.6.1).

4.7. Métodos empleados.

4.7.1. Medición de concentración de gases.

La concentración de CO_2 dentro del empaque se realizó directamente utilizando un analizador de gases NITEC.

4.7.2. Escala subjetiva de calidad para jícama mínimamente procesada.

Las escalas subjetivas para evaluar la calidad de cilindros de jícama se plantearon tomando como referencia las propuesta por Kader et al., (1973), los estudios realizados por Cantwell et al., (1992) y Mercado- Silva et al., (1998) con jícama intacta.

1. Calidad visual. Se estimó con la siguiente escala: 9 = Excelente, esencialmente libre de defectos; 7 = Buena, defectos menores, no objetables; 5 = Regular, defectos leves o moderados; 3 = Pobre, defectos excesivos; 1 = Extremadamente pobre, rechazado.

2. Oscurecimiento. Se calificó en una escala de 1 a 5, donde: 1 = Ninguno o no se presenta, 2 = Ligero, 3 = Moderado, 4 = Severo y 5 = Extremo, muy oscuro.

3. Deshidratación en la superficie. Se calificó en una escala de 1 a 5, donde: 1 = No se presenta, 2 = Ligera (5%), 3 = Moderada (10%), 4 = Severa (20%) y 5 = Extrema (> 50% de la superficie afectada).

4. Pudrición macroscópica. Se evaluó en una escala del 1 al 5, donde: 1 = Ninguna, 2 = Ligera (5%), 3 = Moderada (10%), 4 = Severa (20%) y 5 = Extrema (> 50% de la superficie afectada).

5. Sabor. se evaluó en una escala de 5 a 1, donde: 5 = Sabor característico, completo, 4 = Cercano al típico, 3 = Moderado, pero típico, 2 = Poco pero típico, 1 = No característico o ninguno.

6. Aroma. Se evaluó en una escala de 5 a 1, donde: 5 = Integro u olor característico, 3 = Moderado y 1 = Pérdida completa de olor característico.

4.7.3. Determinación de color en cilindros de jícama.

Se determinaron los parámetros L^* , a^* y b^* , con los cuales se calcularon el ángulo de matiz y la cromaticidad utilizando un colorímetro Minolta modelo 2002, con iluminante C y observador a 2°.

4.7.4. Determinación de firmeza en cilindros de jícama.

Las condiciones utilizadas para la determinación de este parámetro fueron propuestas por Mercado-Silva y Cantwell (1998) para jícama intacta. Se determinaron los parámetros de fuerza máxima de ruptura y la distancia de penetración al punto de ruptura los valores se registraron con un analizador de textura TA-TX2 (Stable Micro Systems). Con una velocidad de penetración de 1 mm/seg a una profundidad final de 8 mm. Se utilizó una sonda de 5 mm de diámetro con extremo plano.

4.7.5. Determinación de Sólidos Solubles Totales (°Bx).

Se tomaron 2 g de jícama; se molieron en un mortero y se le adicionó 2 g de agua, se filtró con gasa. Alícuotas del líquido resultante se colocaron en la cámara de un refractómetro "ATAGO", previamente calibrado con agua destilada a 20°C.

Los valores obtenidos de sólidos solubles totales se multiplicaron por 2 para obtener el valor de la muestra original. Los resultados se expresaron como % de sólidos solubles o °Bx.

$$\% \text{ Bx} = \frac{(\text{Peso agua} + \text{Peso muestra}) \times \% \text{ de sólidos solubles}}{\text{Peso de la muestra}}$$

4.8. Análisis estadístico.

Se utilizó un diseño experimental por bloques completamente al azar, el análisis estadístico de los datos se realizó con un análisis de varianza y se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia ≤ 0.05 para establecer las diferencias entre las medias.

5.0. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

5.1. Tuna mínimamente procesada.

5.1.1. Efecto de las temperaturas en la conservación de tuna.

5.1.1.1. Comparación de la velocidad de respiración y producción de etileno de tuna mínimamente procesada y el fruto intacto.

La velocidad de respiración de la tuna intacta, así, como la del producto mínimamente procesado, estuvo directamente relacionada con la temperatura de almacenamiento; a mayor temperatura mayor velocidad de respiración (Fig. 3). En general el comportamiento respiratorio del fruto intacto confirmó su naturaleza no climatérica como lo demostraron Alvarado y Sosa (1978); Lakshminarayana y Estrella (1978) y Cantwell (1991) quienes mostraron curvas de respiración con tendencias a disminuir durante el almacenamiento de los frutos a 20°C. Cantwell (1991), también añadió que la velocidad de respiración de tuna intacta disminuyó de 20 a 18.5 ml CO₂/Kg-h después de 16 días de almacenamiento para frutos cosechados en tres diferentes estados de madurez sin mostrar diferencias entre ellos. La velocidad de respiración mostró una considerable disminución el primer día de almacenamiento y esto se puede atribuir a posibles diferencias de temperatura al momento de realizar las mediciones. Durante el período de almacenamiento que comprendió este estudio no se observaron daños por frío como los descritos por Chavez-Franco y Saucedo-Veloz (1985) debido a que no se realizaron mediciones durante períodos más largos y a que no se realizó la transferencia de los frutos a 20°C puesto que el objetivo fue comparar la tasa de respiración del fruto intacto con el fruto mínimamente procesado dentro de los mismos períodos de tiempos y únicamente a las temperaturas consideradas.

Después del decremento inicial descrito anteriormente, a la temperatura de 2°C tanto el producto mínimamente procesado como el fruto intacto mantuvieron estable su tasa

Los valores aquí obtenidos se encuentran dentro del intervalo reportado por esta autora. No obstante, se observó que en el producto mínimamente procesado tuvo una tasa de producción notablemente mayor. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Cantwell (1996b) que indicó que para el caso de melón maduro mínimamente procesado, la tasa de producción de etileno fue la misma que el producto intacto cuando fue almacenado a 2.5°C, en tanto que a 20°C ésta tasa de producción fue diez veces mayor. Esto también ocurrió para el caso de fresa almacenada a esta misma temperatura. De los datos aportados por esta autora, se puede indicar que la tasa de producción de etileno de los productos mínimamente procesados está en función de la temperatura, de su estado de desarrollo y de la capacidad para producir etileno.

5.1.1.2. Cambios de calidad visual y color en frutos mínimamente procesados.

En la Figura 5 se puede observar que la calidad visual de la tuna mínimamente procesada disminuyó con el aumento de la temperatura; los frutos almacenados a 2°C lograron conservar una excelente calidad visual hasta el final del almacenamiento, mientras que los almacenados a 6°C mostraron buena y pobre calidad visual a los días 7 y 9 respectivamente, a 10°C la calidad visual de las tunas sólo pudo conservarse como excelente durante 2 días, siendo regular a los 4 y pobre a los 7 días de almacenamiento (Fig. 6A).

A 6 y 10°C el oscurecimiento de la superficie fue el principal problema durante el almacenamiento de la tuna mínimamente procesada (Fig. 6B), a 6°C se observó un ligero oscurecimiento al día 8 y moderado al día 9, en tanto que a 10°C el oscurecimiento fue moderado al día 7 y severo al día 11. La medición objetiva del color a través de a^* y del ángulo de matiz, mostró que los frutos almacenados a 2°C conservaron durante 12 días el color verde-amarillo característico de la pulpa de tunas de esta variedad, en tanto que las tunas almacenadas a 6 y 10°C mostraron un aumento en los valores de a^* (Fig. 7A) y una disminución en los valores del ángulo de matiz (Fig. 7B) a partir del día 4, siendo ligeramente mayor a 10°C, lo cual coincidió con el mayor oscurecimiento observado visualmente.



Figura 5. Calidad visual de la tuna mínimamente procesada a doce días de almacenamiento a diferentes temperaturas.

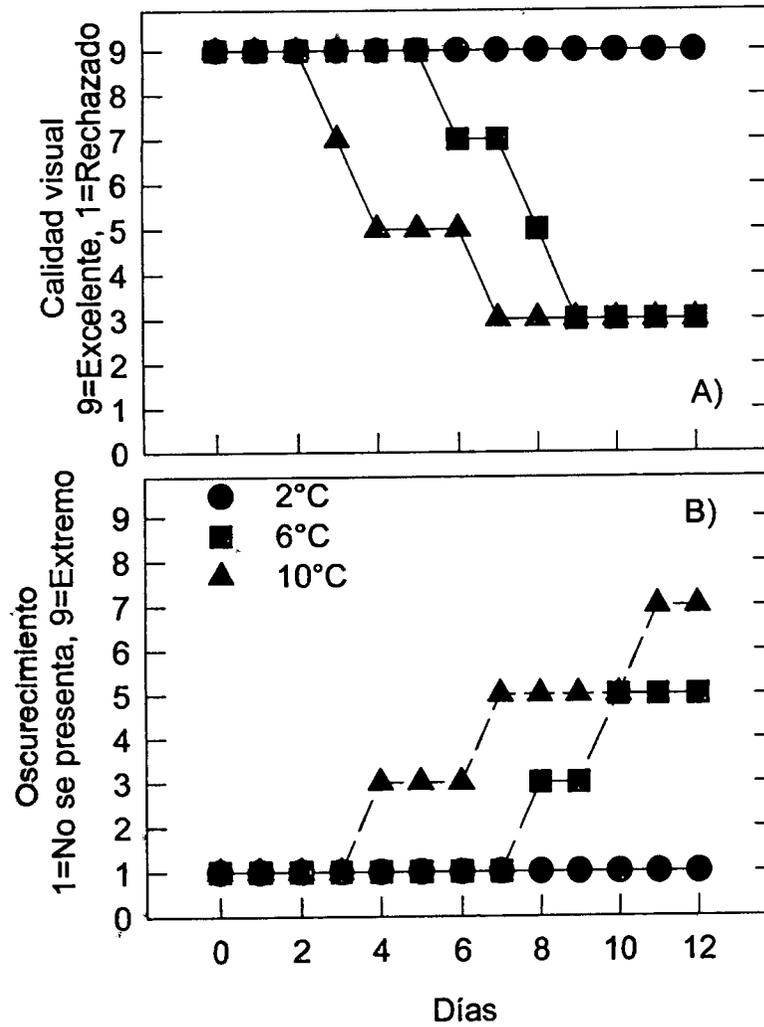


Figura 6. Cambios en la calidad visual A) y oscurecimiento B) en tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada en aire a 2, 6 y 10°C.

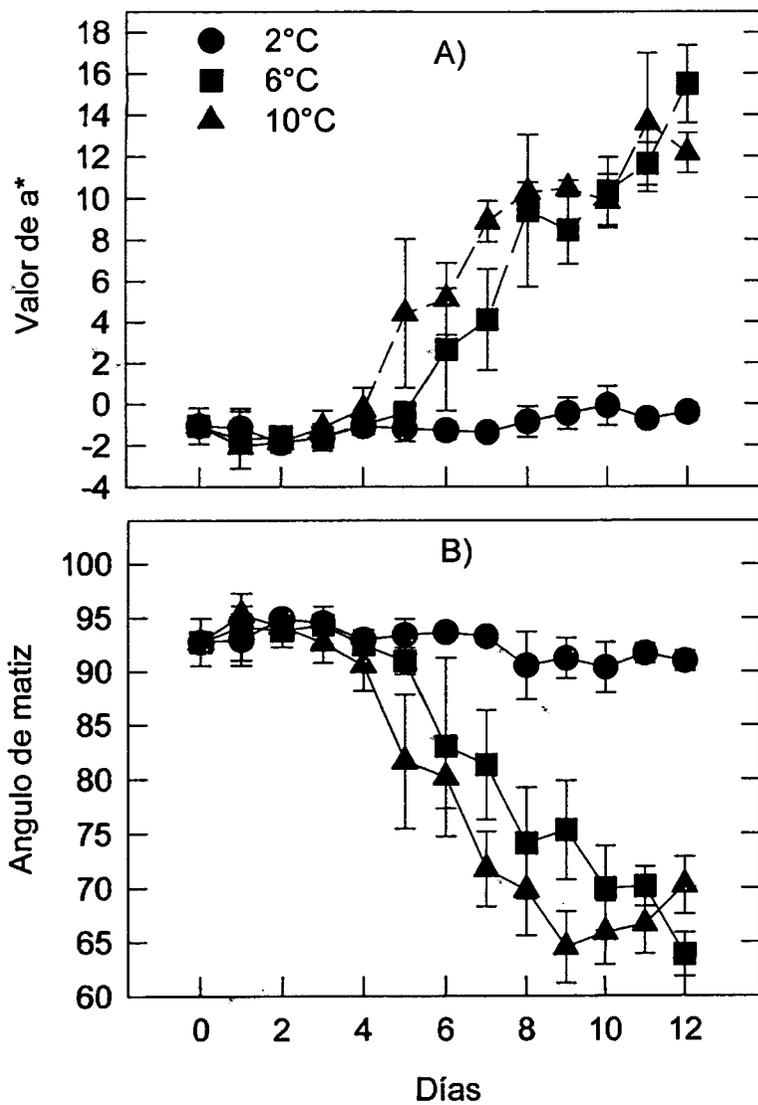


Figura 7. Cambios en el valor de a^* (A) y el ángulo de matiz (B) durante el almacenamiento en aire a 2, 6 y 10°C de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada.

En opinión de Cantwell (1996b), todos los productos mínimamente procesados deben de mantenerse cerca de 0°C para mantener su calidad y vida de anaquel e indica que mientras que el almacenamiento de productos intactos entre 0 y 5°C no hace mucha diferencia en la vida de anaquel, en los productos mínimamente procesados hay diferencias sustanciales si el producto se almacena cerca de 0°C con respecto del que se almacena a 5°C. Este criterio es también aplicable a los productos sensibles al frío como los chiles; esta autora puntualiza que el valor de las bajas temperaturas para controlar la alta velocidad de deterioro originada por el cortado es aparentemente mayor que el daño por frío inducido lentamente por temperaturas menores a los 7.5°C y anota como recomendación general el mantener el producto tan frío como sea posible. Los resultados aportados aquí para el caso de tuna concuerdan con lo apuntado anteriormente. En apoyo a estos conceptos Aquino-Bolaños (1998) reportó que a menor temperatura existe una menor pérdida de calidad en jícama mínimamente procesada. Parte de la explicación a estos fenómenos lo indican Watada et al. (1996) al señalar que la respuesta al daño depende de la temperatura de almacenamiento debido a que la velocidad de las reacciones se reducen de 2 a 3 veces al disminuir 10°C la temperatura.

5.1.1.3. Contenido de Fenoles.

El contenido de fenoles se incrementó con la temperatura y el tiempo de almacenamiento del producto mínimamente procesado (Fig. 8). Después de 12 días de almacenamiento a 2°C el contenido de fenoles fue de 5.8 mg de catequina/g de materia liofilizada, en tanto que a 6°C alcanzó un contenido de 13.2 y los frutos almacenados a 10°C alcanzaron un contenido de 26.4 mg de catequina/g de materia liofilizada. El contenido de fenoles se correlacionó como un mayor oscurecimiento del fruto. Las correlaciones obtenidas entre el parámetro a^* y el contenido de fenoles (catequina) fue de 0.73, 0.81 y 0.89 para 2, 6 y 10°C, respectivamente (Figuras B1, B2 y B3). Eso indicó que gran parte del oscurecimiento lo explicó la concentración de fenoles condensados.

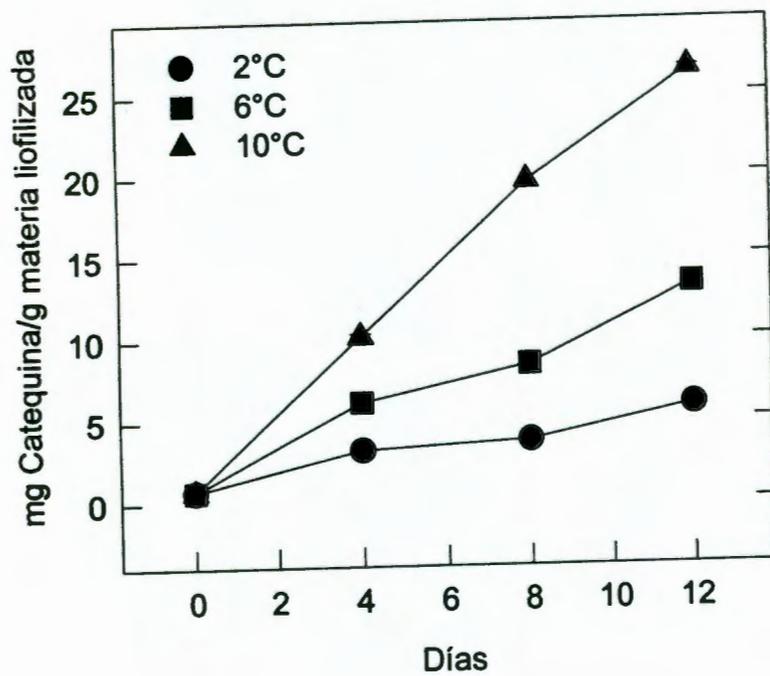


Figura 8. Cambios en el contenido de fenoles en tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada en aire a 2, 6 y 10°C.

El cambio de color en los productos mínimamente procesados es uno de los problemas más importantes a seguir durante su conservación. Este cambio se ha asociado a la generación de fenoles (Hyodo et al., 1978).

La generación de compuestos fenólicos y el desarrollo de oscurecimiento se han asociado con la actividad de las enzimas PAL y PPO y se han establecido correlaciones con la temperatura; las cuales muestran que a mayor temperatura mayor oscurecimiento (López-Gálvez et al., 1996). Sin embargo, Peiser et al., (1998) al estudiar el desarrollo del moteado en híbridos de lechuga, encontraron que este defecto es independiente del incremento de la actividad de PAL y de la concentración de estos, pero anotan que los compuestos fenólicos contribuyen al subsecuente oscurecimiento. Aquino-Bolaños (1998) reportó que los cambios de color en discos de jícama estuvieron más relacionados con la concentración de los fenoles presentes que con la actividad de la enzima PPO, indicando que el factor limitante para que se de el cambio de color en el tejido de jícama fue la concentración de fenoles; esta autora reportó coeficientes de correlación de 0.68, 0.79 y 0.92 para 5, 7.5 y 10°C respectivamente. De igual forma, Latanzio et al., (1994) indicaron que la actividad de la enzima PPO y la cantidad de compuestos fenólicos no cambiaron de la misma forma y arguyen que el mecanismo de oscurecimiento en alcachofa puede ser no enzimático en una reacción en la que suponen que los compuestos fenólicos forman un complejo con el ión ferroso que por la oxidación con el O₂ atmosférico se oxida a férrico para dar compuestos coloridos con los fenoles.

Además de la asociación con el desarrollo de color, el metabolismo de los fenoles está directamente relacionado con la respuesta del tejido a diferentes tipos de estrés (Ke y Saltveit, 1989), incluyendo el daño mecánico. Según Miller (1992), los compuestos fenólicos que las frutas y hortalizas sintetizan durante el daño incluyen flavonoides y taninos entre otros. El propio tejido dañado responde a través de una cicatrización sintetizando suberina y lignina, productos necesarios para desarrollar el mecanismo de defensa contra el ataque de microorganismos y también son productos terminales del metabolismo de los fenoles (Burton, 1982 y Hyodo et al., 1991).

5.1.1.4. Cambios en el aroma y el sabor.

Los cambios en el aroma se muestran en la Figura 9A. El aroma característico de la tuna se conservó íntegramente en el producto mínimamente procesado durante 4 días de almacenamiento a 10°C, 8 días a 6°C y 12 días a 2°C; los frutos almacenados a 10°C al día 8 presentaron un aroma moderado que se conservó hasta el día 12, siendo similar al de los frutos almacenados a 6°C. Se observaron diferencias claras en el sabor de las tunas mínimamente procesadas almacenadas bajo las tres diferentes temperaturas (Fig. 9B), el sabor de los frutos almacenados a 2°C gustó completamente durante los 12 días, mientras que, a 6°C el sabor fue evaluado como moderado al día 8 conservándose así hasta el día 12, a 10°C el sabor de los frutos mostró cambios rápidamente siendo evaluado como gusta moderadamente a 4 días, gusta débilmente al día 8 y disgusta ligeramente al día 12.

Brecht (1995) indicó que algo del aroma y sabor puede desaparecer y dar lugar a un pobre sabor del producto mínimamente procesado en comparación con el producto fresco mientras que algunos malos sabores y olores pueden ser persistentes. De acuerdo con Miller (1992) las clases de productos que pueden estar directamente relacionados con los cambios de sabor son aquellos relacionados con el metabolismo de los fenilpropanoides, poliquetidos, flavonoides, terpenoides, alcaloides, taninos, glucosinolatos, alcoholes y ácidos grasos de cadena larga. De acuerdo con los resultados aquí encontrados, el control del desarrollo de compuestos que afectan el sabor y el aroma se logró a través de la temperatura más baja (2°C).

5.1.1.5. Cambios en el contenido de sólidos solubles y azúcares.

En la Figura 10A se pueden observar los cambios en el contenido de sólidos solubles (°Bx) de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada estos se incrementaron ligeramente durante los 4 primeros días de almacenamiento en las diferentes temperaturas, sin encontrarse diferencias estadísticamente significativas entre ellas, después de este día todos los frutos mostraron disminución en el contenido de sólidos solubles, encontrándose al día 12 un contenido menor al observado el día 0. Los valores del contenido inicial de

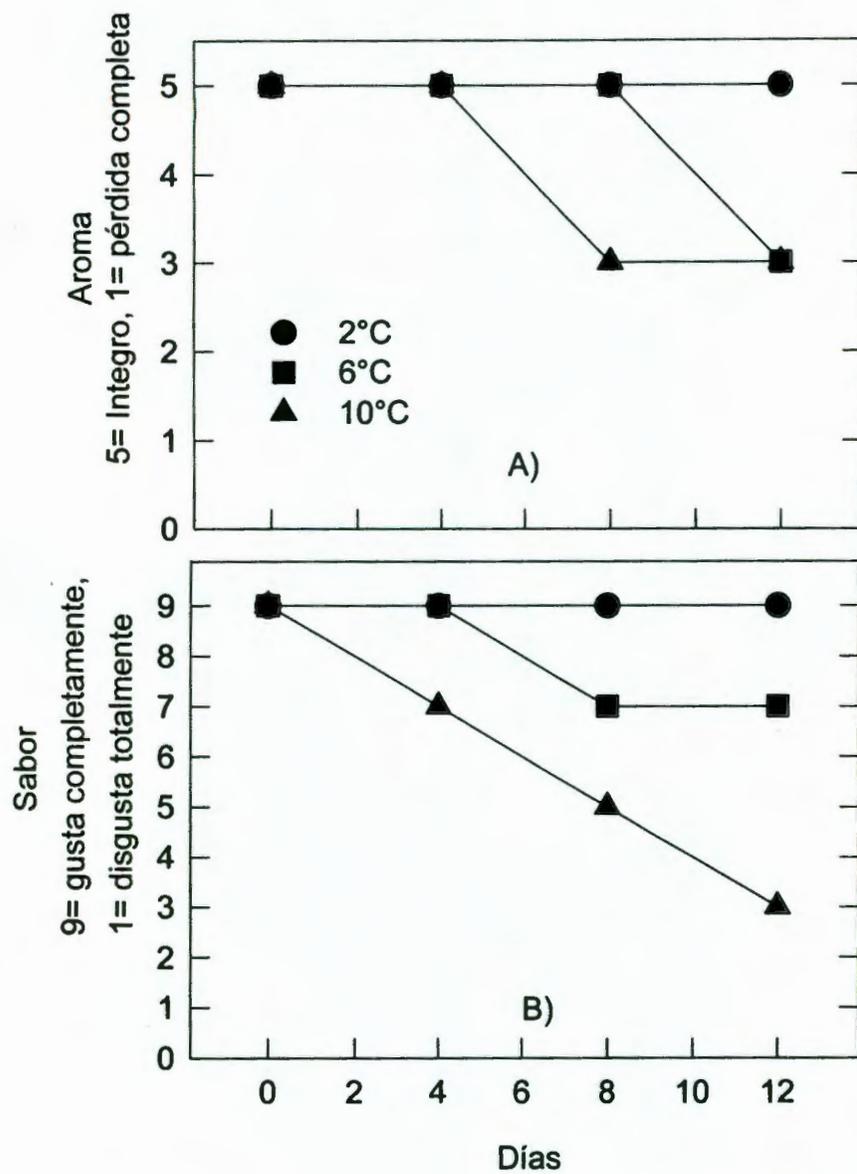


Figura 9. Cambios en el aroma (A) y el sabor (B) de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada en aire a 2, 6 y 10°C.

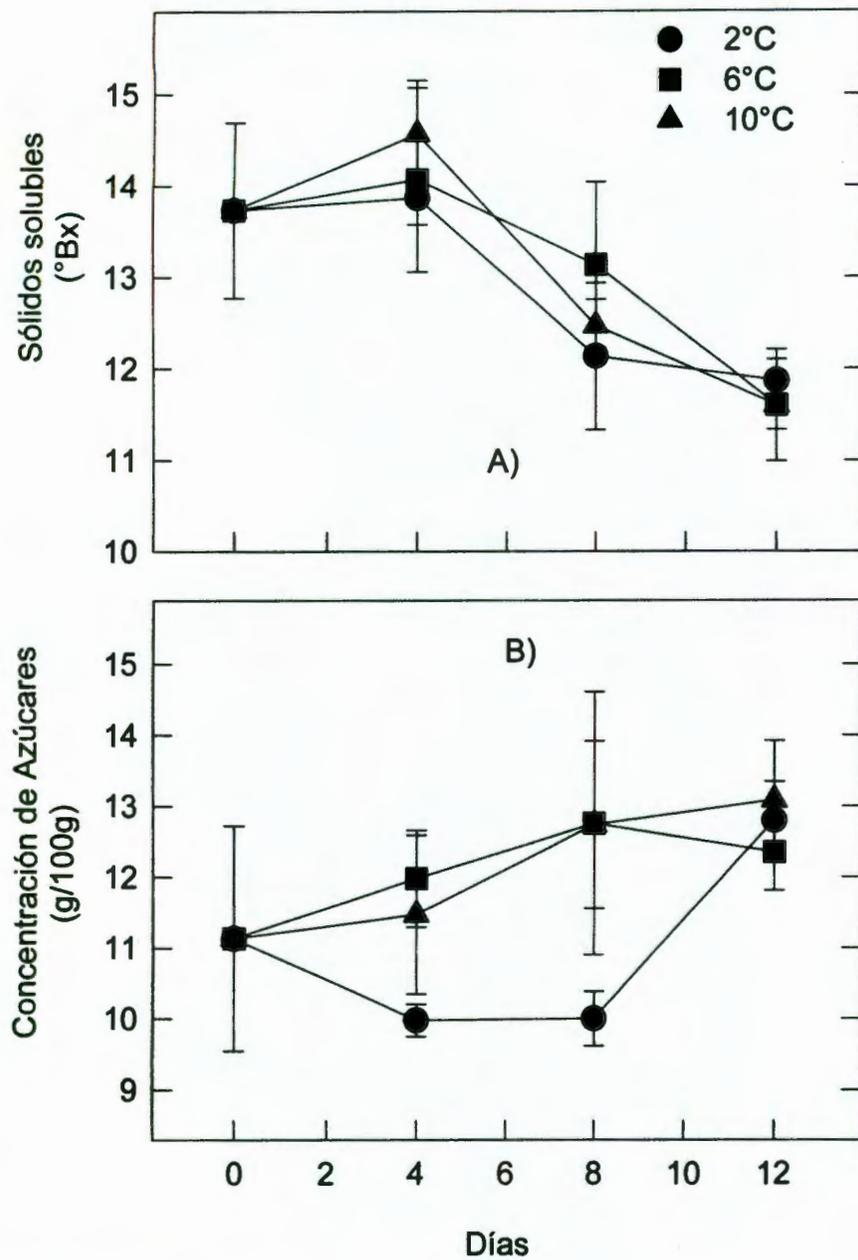


Figura 10. Cambios en el contenido de sólidos solubles (A) y azúcares (B) de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada en aire a 2, 6 y 10°C.

sólidos solubles se encontró dentro de los valores reportados por Mondragón y Pérez (1994) para la variedad 'Cristalina' producida en la región central de México; sin embargo estos valores fueron más altos que para los reportados por Montiel-Rodríguez (1986) quien trabajó con tunas de la zona de Hermosillo, Sonora.

El contenido de azúcares (Fig. 10B) disminuyó en los 4 primeros días de almacenamiento a 2°C, manteniéndose constante hasta el día 8. En los frutos almacenados a 6°C y 10°C se observó un constante incremento sin encontrarse diferencias entre ellos; al día 12 no se observó diferencia en el contenido de azúcares de los frutos de los tres tratamientos; sin embargo este contenido fue mayor al del día 0. La disminución del contenido de sólidos solubles no se correlacionó con el pequeño incremento de los azúcares; aunque estos parámetros lo han correlacionado positivamente Lakshminarayana et al., (1979) y Alvarado y Sosa (1978) aún cuando se refieren al desarrollo del fruto y Cantwell (1991) mencionó que el contenido de sólidos solubles no necesariamente se correlacionó con el contenido de azúcares.

No existen reportes sobre los cambios de estos componentes en frutos de tuna mínimamente procesados; Sin embargo, Cantwell, (1995) y Barbera et al., (1992) reportaron incrementos en el contenido de sólidos solubles y de los azúcares, a medida que avanzó el estado de madurez de los frutos. Chávez-Franco y Saucedo Veloz (1985) también reportaron un incremento en los sólidos solubles en tuna almacenada a 18°C. Sin embargo, Alvarado y Sosa (1978) reportaron una ligera disminución en el contenido de sólidos solubles y azúcares en frutas de tuna después de 2 semanas de almacenamiento a 20°C. Cantwell (1991) reportó que una característica de frutos no climatéricos es la falta de almidón como carbohidrato de reserva lo cual hace que el contenido de azúcar no se incremente en poscosecha y que los sólidos solubles en la pulpa de tres variedades de tuna Blanca (Copena 1, 16 y 18) se incrementaron menos del 1% durante su almacenamiento a 20°C por 1 mes. Esta autora indicó que el incremento puede ser debido a la hidrólisis de carbohidratos complejos a azúcares.

5.1.1.6. Cambios en el pH y la acidez titulable.

Los valores de pH de los frutos almacenados a 2°C no mostraron cambios estadísticamente significativos durante los 12 días de almacenamiento con valores alrededor de 6.8; en tanto que los frutos que fueron almacenados a 6 y 10°C mostraron un incremento significativo en el día doce con valores de 7.1 y 7.2 respectivamente (Fig. 11A). La acidez titulable expresada como % de ácido cítrico se mantuvo estadísticamente constante durante los primeros cuatro días a las tres diferentes temperaturas consideradas y posteriormente disminuyó a los 8 días con un ligero incremento posterior a los doce días (Fig. 11 B) que fue menor al contenido inicial. De acuerdo con la revisión que de este fruto hace Domínguez-López (1995), los valores se encuentran dentro de la amplia variabilidad reportada por varios autores; sin embargo, se debe anotar que la acidez de este fruto es muy baja.

5.1.1.7. Textura.

La determinación de la textura con la cuchilla plana (Fig. 12A) y la prueba de compresión (Fig. 12B) mostraron amplias variaciones en los resultados. La variabilidad encontrada con la cuchilla pudo ser debida a las semillas que se opusieron al viaje de la cuchilla dado que no hay una distribución uniforme de las mismas dentro del fruto. No obstante estas dificultades, se pudo observar que la fuerza necesaria para cortar el fruto tendió a disminuir a medida que transcurrió el tiempo de almacenamiento. Esta misma tendencia se mostró utilizando la sonda plana (en la cual se midió la fuerza máxima necesaria para romper el fruto), pero este tipo de prueba fue mas homogénea hasta el día 8 de almacenamiento y volvió a mostrar amplia variabilidad en el día doce. Los valores de fuerza para la ruptura variaron desde 93.170 N en el día 0 hasta 65 N al día 12 (Fig. 12B).

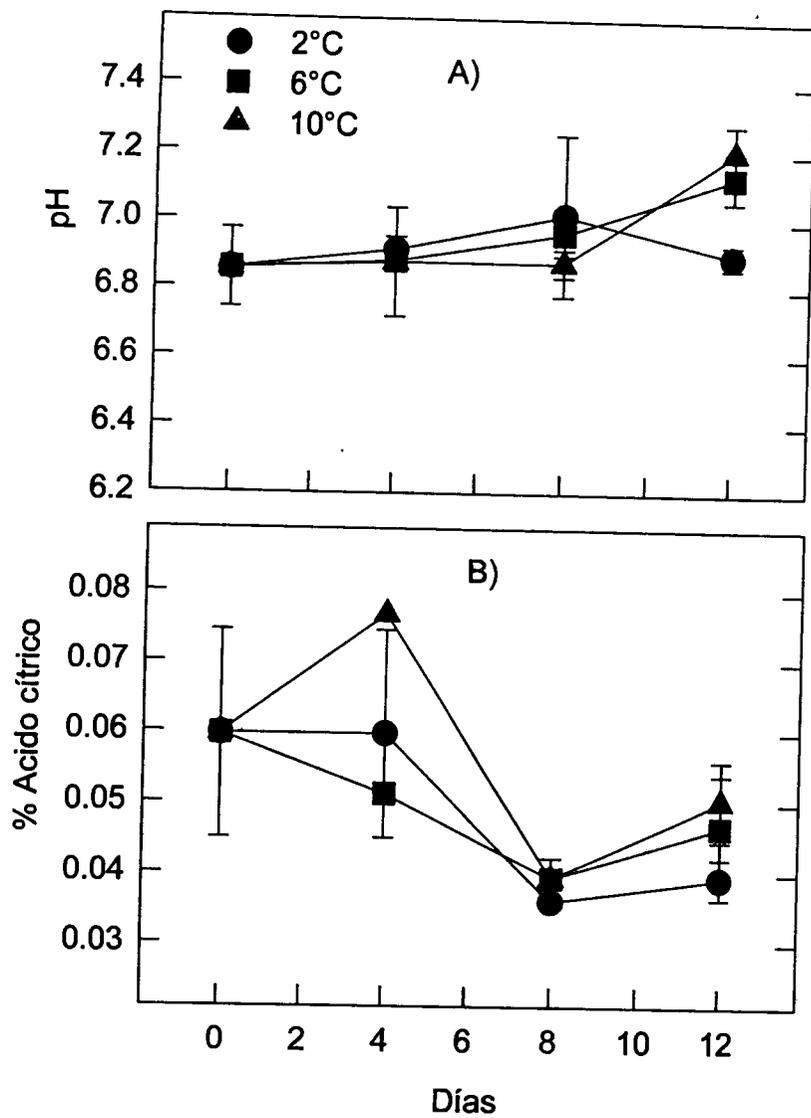


Figura 11. Cambios en el pH (A) y el % de ácido cítrico (B) en tuna 'Cristalina' mínimamente procesada y almacenada en aire a 2, 6 y 10°C.

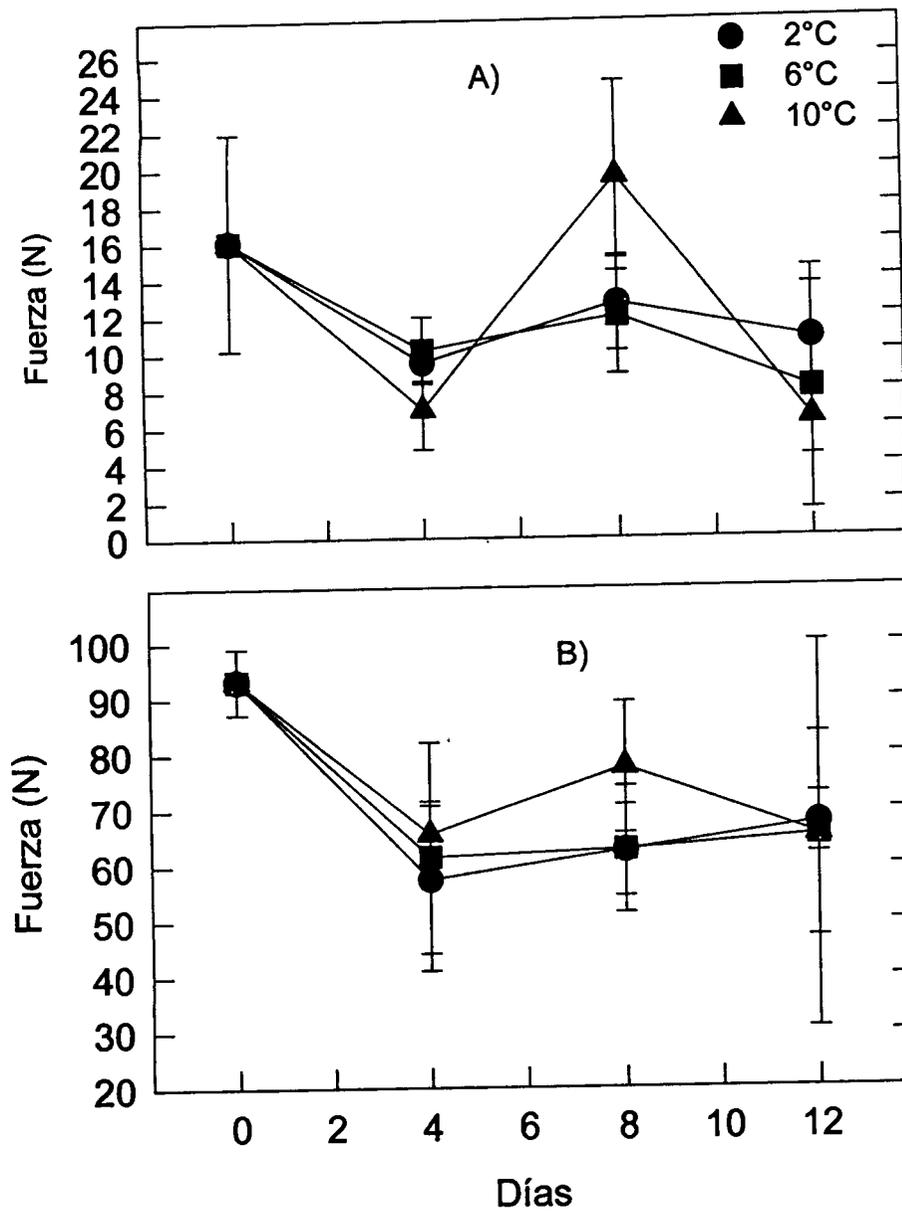


Figura 12. Fuerza requerida para romper el tejido de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada y almacenada a diferentes temperaturas. Prueba con cuchilla (A) y prueba con sonda plana (B).

La menor variabilidad de los datos en el día inicial utilizando la sonda plana indicaría que esta prueba podría ser la base para determinar la firmeza de la tuna fresca sin estar sometida a ningún tratamiento, lo cual sería una limitación de su uso. En base a esto deben realizarse otro tipo de pruebas que muestren mejor los cambios en la textura de este fruto tanto en su forma fresca como procesado.

No obstante estos problemas de medición de textura, Cantwell (1986 y 1991) reporta que la firmeza de las tunas disminuyó ligeramente durante un mes, de almacenamiento a 20°C pero los cambios fueron pequeños en comparación a los cambios en la firmeza de otros frutos a esa temperatura.

5.1.1.8. % de pérdida de peso.

El mayor porcentaje de pérdida de peso se observó el primer día de almacenamiento en los frutos almacenados a las tres temperaturas (Fig. 13); Después se mantuvieron constantes hasta el día 6 ; a partir de este día en los frutos almacenados a 6°C y a partir del día 11 para aquellos almacenados a 10°C fueron los que mayores pérdidas mostraron.

No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los 3 diferentes tratamientos durante el almacenamiento por once días.

Chessa y Schirra (1992)., reportaron que el fruto intacto de la variedad 'Giulla' almacenada a 6°C y 90-95% de humedad relativa, mostró pérdidas de peso de menos del 0.2% por día equivalentes a 2.4% al final de 12 días. De acuerdo con estos datos la pérdida de peso del fruto mínimamente procesado es similar a la que muestra el fruto intacto bajo temperaturas de 2 y 6°C, a 10°C la pérdida de peso sólo se incrementa a partir del día doce de almacenamiento.

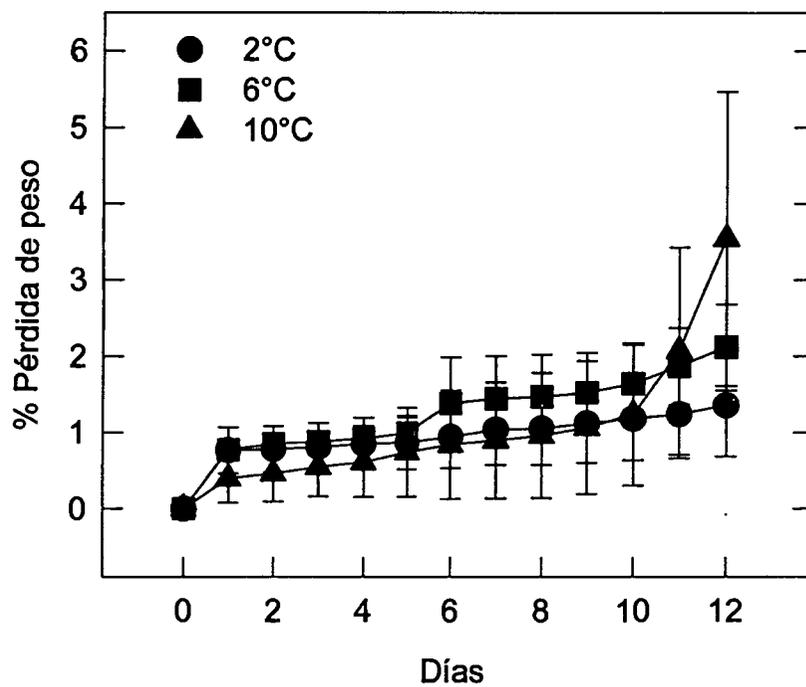


Figura 13. % de pérdida de peso en tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada en aire a 2, 6 y 10°C.

Como conclusión de esta etapa del trabajo, se puede decir que el almacenamiento a 2°C fue el tratamiento que mejor ayudó a conservar la calidad de la tuna mínimamente procesada, esta temperatura redujo la velocidad de respiración, la producción de etileno, el contenido de fenoles condensados, se evitó el oscurecimiento y conservó mejor el aroma y sabor característicos del fruto fresco.

5.1.2. Conservación de tuna mínimamente procesada bajo atmósferas controladas.

5.1.2.1. Cambios en la calidad visual y el color de tuna mínimamente procesada almacenada en 5 diferentes concentraciones atmosféricas.

Todos los frutos almacenados en las diferentes atmósferas controladas estudiadas conservaron una excelente calidad visual durante 10 días de almacenamiento (Fig. 14A). Sin embargo a los 15 días sólo los frutos almacenados en atmósferas con 3% O₂ + 10% CO₂ y en 10% CO₂ con mínimos niveles de O₂ la conservaron. Aunque los frutos almacenados en atmósferas con 3% O₂ y en aire + 10% CO₂ tuvieron una menor pérdida de calidad que los almacenados en aire (control); su calidad fue muy buena. A los 20 días todos los frutos a excepción de los almacenados en atmósferas con 3% O₂ mostraron muy buena calidad.

Durante 10 días de almacenamiento ninguno de los frutos tratados presentó problemas de oscurecimiento y aunque después del día 15 de almacenamiento se presentaron ligeros problemas de oscurecimiento en el tratamiento con aire + 10% CO₂, éstos no fueron diferentes. Después de 20 días de almacenamiento, todos los frutos sometidos a los diferentes tratamientos mostraron cierta tendencia a oscurecerse (Fig. 14B) a excepción de aquellos almacenados en atmósfera con 10% CO₂ y mínimos niveles de O₂ los cuales no mostraron indicios visuales de oscurecimiento.

La medición objetiva del color a través del ángulo de matiz (Fig. 15A) y la cromaticidad (Fig. 15B) durante los 15 primeros días de almacenamiento indicó una ligera pérdida del color característico de la tuna sin encontrarse diferencias entre los diferentes tratamientos. Sin embargo, al día 20 los frutos sometidos a un tratamiento con 10% CO₂ y en general aquellos tratados con altos niveles de CO₂ y bajos de O₂ conservaron mejor el color verde claro; asociado a el menor incremento en los valores de la cromaticidad, mientras que los tratados con aire y especialmente los tratados con 3% O₂ presentaron un ligero oscurecimiento expresados por la disminución de los valores del ángulo de matiz y

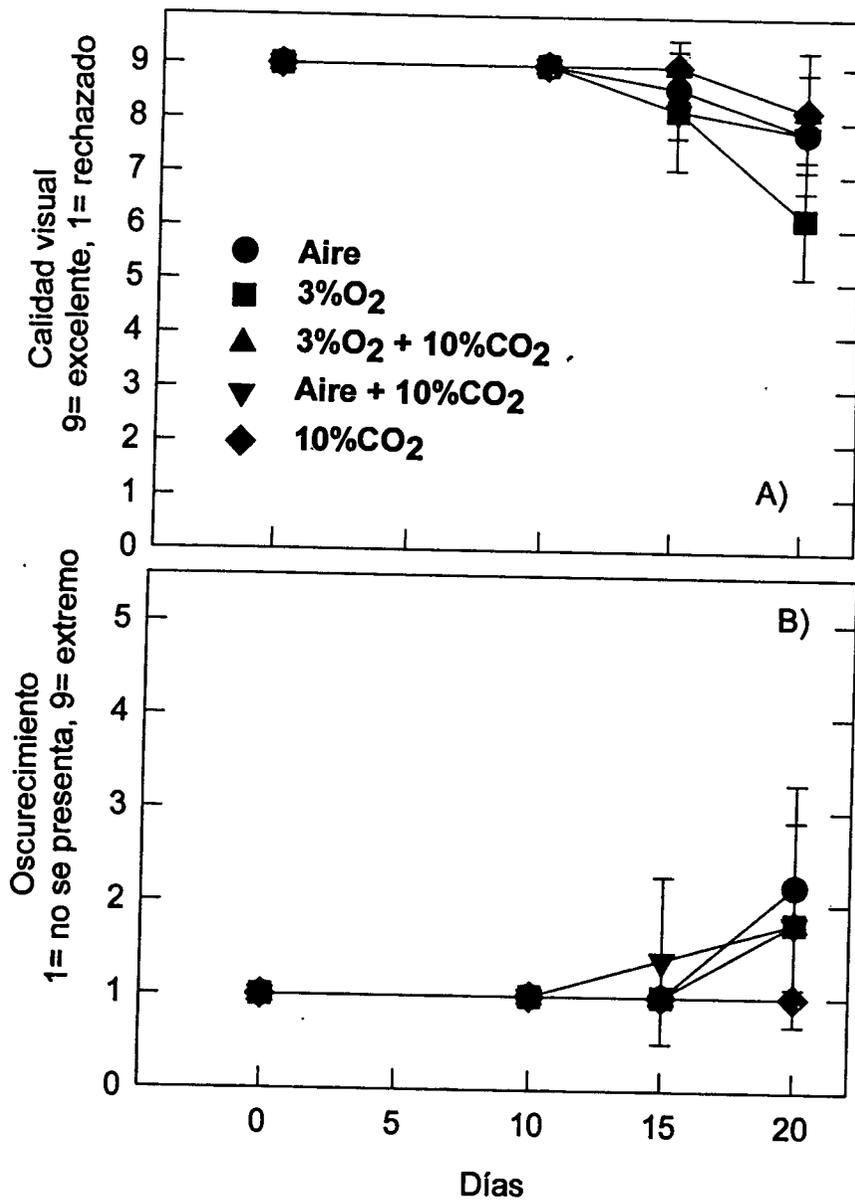


Figura 14. Calidad visual (A) y oscurecimiento (B) en tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada a 2°C en atmósferas controladas.

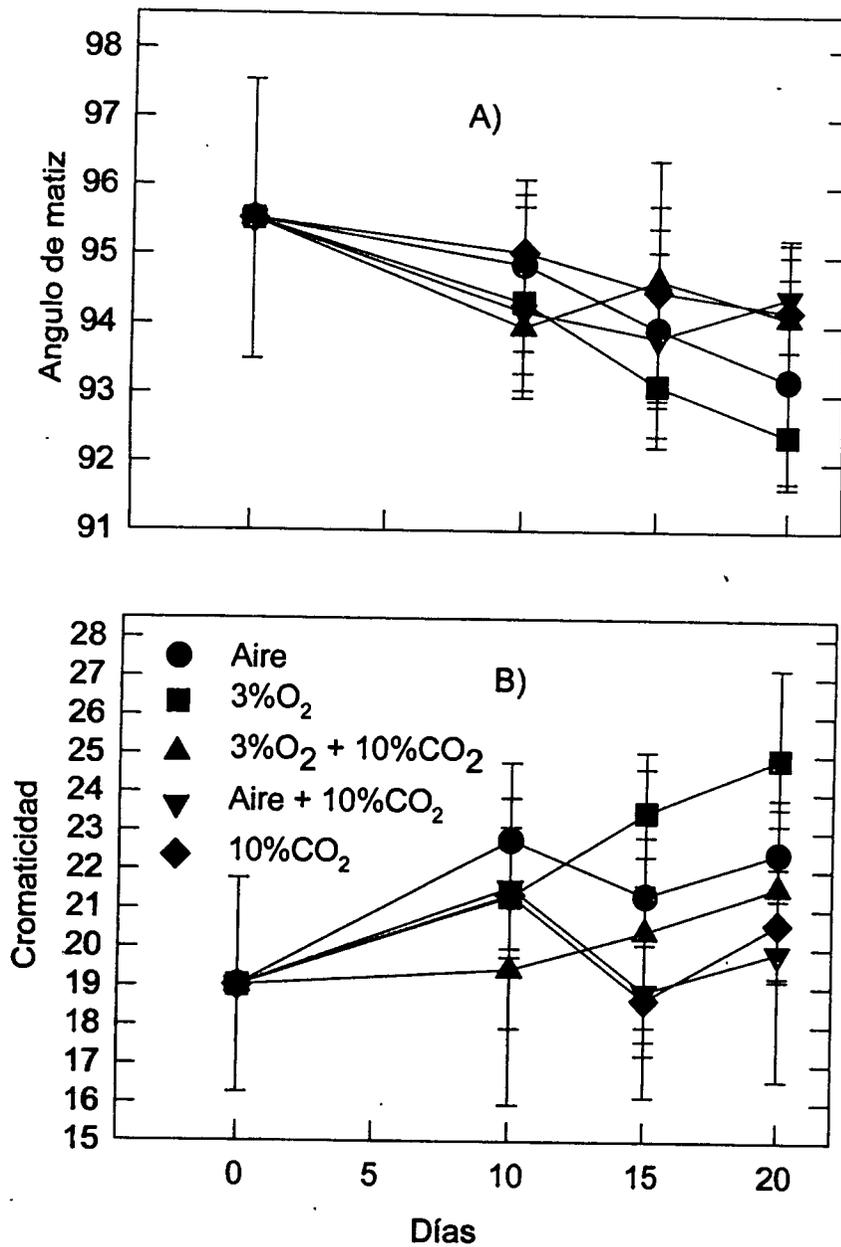


Figura 15. Cambios en el ángulo de matiz (A) y la cromaticidad (B) de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada a 2°C en atmósferas controladas.

una mayor cromaticidad.

La comparación de los experimentos llevados a cabo en la primera etapa con los de atmósferas controladas, permite observar que los tratamientos de atmósferas con aire y aquellos con 3% de O₂ fueron los que más cambiaron el color de la fruta. Asimismo, estos resultados permitieron mostrar el efecto benéfico que tuvo la presencia de 10% de CO₂ en las atmósferas controladas para la conservación del color de la fruta mínimamente procesada.

5.1.2.2. Contenido de Fenoles.

La Figura 16 nos muestra el comportamiento del contenido de fenoles en tuna mínimamente procesada almacenada en las diferentes atmósferas, se observó que los frutos almacenados en aire presentaron un incremento constante durante todo el período de almacenamiento (4.3, 7.2 y 9.7 mg de catequina por g de materia liofilizada a los 10, 15 y 20 días respectivamente). Los frutos tratados con aire + 10% CO₂ así como los tratados bajo atmósferas de 3% O₂ siguieron un comportamiento similar a los tratados con aire, sin embargo, el contenido de fenoles condensados después de 20 días de almacenamiento fue 40% menor que aquellos. Para los frutos tratados con 10% CO₂ tuvieron solamente un pequeño incremento de fenoles condensados, después del mismo tiempo de almacenamiento, mientras que, en los frutos almacenados en una atmósfera de 3% O₂ + 10% CO₂ la concentración de fenoles fue muy similar a la mostrada al día 0 y 80% menor al observado en los frutos almacenados en aire. Esto mostró el efecto benéfico de estas atmósferas para disminuir el metabolismo de fenoles condensados en tuna 'Cristalina'. La comparación de los experimentos realizados en la primera etapa (Fig. 8) con los realizados bajo atmósferas controladas mostró claramente que las atmósferas que contenían 3% de O₂ + 10% de CO₂ y aquellas de 10% de CO₂ fueron las que inhibieron en mayor medida el metabolismo de fenoles o la formación de fenoles condensados.

Estos resultados corroboran lo obtenido en la sección de color, ya que también estas atmósferas son las que más conservaron el color de los frutos.

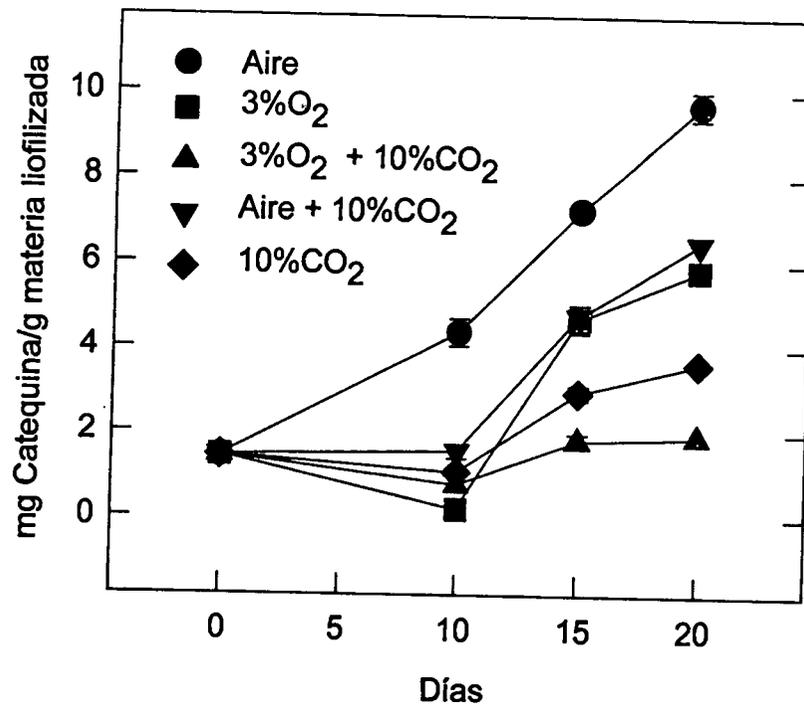


Figura 16. Cambios en el contenido de fenoles en tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada a 2°C en atmósferas controladas.

5.1.2.3. Cambios en el aroma, el sabor y presencia de pudriciones.

El aroma y el sabor de la tuna mínimamente procesada (Fig. 17 A y 17B) no se vieron afectados hasta 15 días de almacenamiento a 2°C en las distintas atmósferas utilizadas. Al día 20 los frutos almacenados en aire mostraron un aroma cercano al típico, en tanto que los tratados con 3% O₂ y en 10% CO₂ mostraron aroma moderado (3.2).

A los 20 días de almacenamiento las tunas tratadas con 3% O₂ mostraron pérdidas considerables de sabor (evaluadas como gusta débilmente), en tanto que las almacenadas en aire y en atmósferas con 10% de CO₂ y mínimos niveles de O₂ lograron conservar un buen sabor evaluadas con 7.8 y 8.2 respectivamente. Como puede observarse a través de estas calificaciones las atmósferas con 10% de CO₂ no alteraron gravemente la calidad de la tuna.

Estos valores concuerdan con lo reportado por Portella y Cantwell (1998) para el caso de melón quienes encontraron que el aroma típico disminuye durante el almacenamiento; pero que esta pérdida fue mayor para las piezas almacenadas en aire comparadas con las almacenadas en atmósferas controladas.

La presencia de pudriciones visuales no fueron un problema durante el almacenamiento de la tuna mínimamente procesada y almacenada a 2°C, bajo las distintas atmósferas estudiadas. Esto también fue observado en la primera etapa de este estudio.

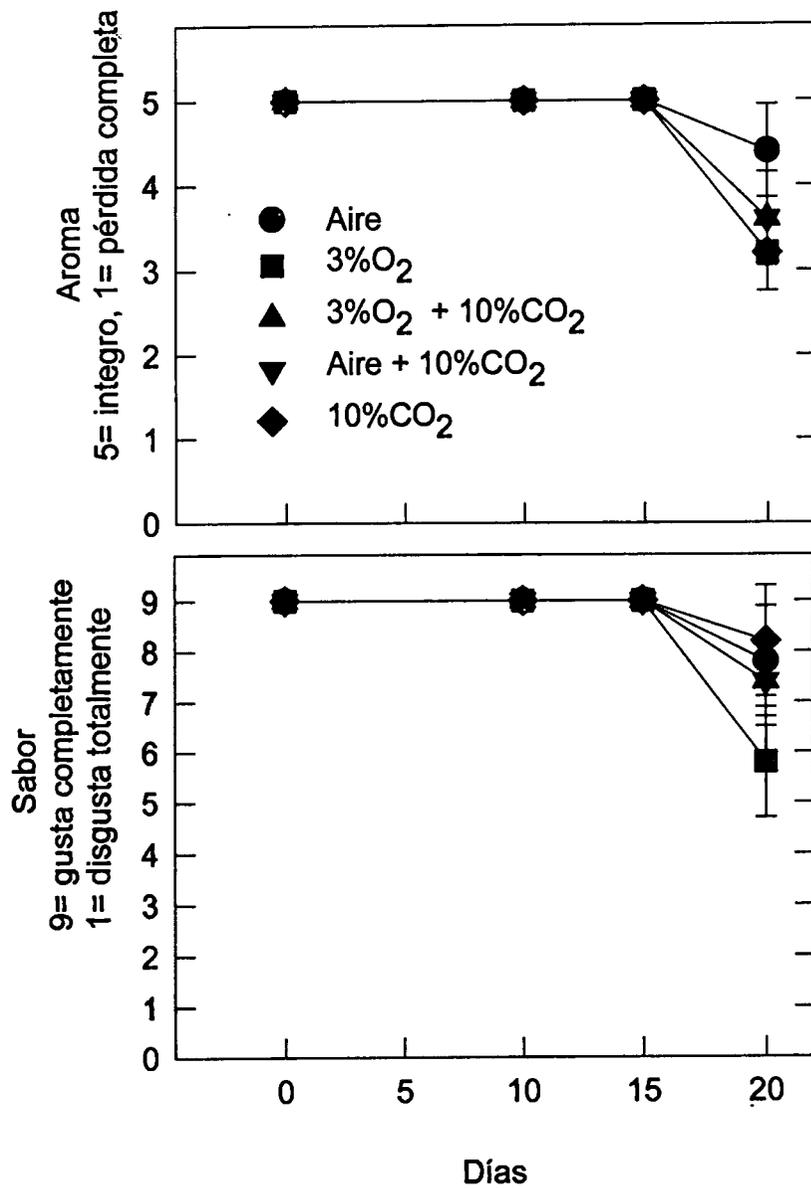


Figura 17. Cambios en el aroma (A) y el sabor (B) de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada a 2°C en atmósferas controladas.

5.1.2.4. Textura.

El análisis estadístico de los valores de textura obtenidos con la cuchilla plana de 3 mm de espesor mostró dos aspectos (Cuadro 7): el primero es que el tiempo de almacenamiento tiende a disminuir la fuerza máxima de ruptura de los frutos siendo los mantenidos en aire y aire + 10% de CO₂ los que presentaron un menor cambio. Todos los demás tratamientos mostraron una menor textura en comparación con los dos grupos mencionados.

Sin embargo, los frutos tratados con 3% de O₂ durante 20 días mostraron una mayor textura.

La prueba de compresión sólo mostró diferencias estadísticas con el tiempo de almacenamiento y no se hallaron diferencias entre tratamientos (Cuadro 8).

La prueba de textura utilizando una cuchilla plana de 3 mm de espesor permitió observar diferencias entre los diferentes tratamientos, sin embargo, como ya se ha anotado en la primera parte de este trabajo se necesitan más ensayos con otras pruebas para elegir la que permita establecer diferencias más claras en la textura de las tunas mínimamente procesadas.

La pérdida de firmeza también se ha observado en otros productos durante su almacenamiento y algunos reportan que las atmósferas controladas mantienen la firmeza de los productos en comparación con aquellos mantenidos en aire por ejemplo Portella y Cantwell (1998), reportaron que las piezas de melón mantuvieron mejor su firmeza cuando se almacenaron en aire + 15% de CO₂.

Cuadro 7. Fuerza (N) requerida para romper el tejido de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada a 2°C en diferentes atmósferas controladas. Prueba con cuchilla de 3 mm de espesor.

Atmósfera	Inicial	Día de almacenamiento		
		10	15	20
Aire	19.4	22.5 b	18.9 b	13.4 ab
3%O ₂		15.0 a	12.3 a	16.8 b
3%O ₂ + 10%CO ₂		11.4 a	11.7 a	13.2 ab
Aire + 10%CO ₂		16.8 ab	12.9 ab	11.9 ab
10%CO ₂		15.2 a	11.6 a	8.2 a

Valores dentro de la misma columna con diferentes letras son estadísticamente diferentes (Tukey < 0.05).

Cuadro 8. Fuerza (N) requerida para romper el fruto de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada y almacenada a 2°C en diferentes atmósferas controladas. Prueba con sonda de 5 cm de diámetro.

Atmósfera	Inicial	Día de almacenamiento		
		10	15	20
Aire	100.3	100.3 a	86.5 a	81.2 a
3%O ₂		93.1 a	89.6 a	93.5 a
3%O ₂ + 10%CO ₂		82.1 a	85.2 a	83.8 a
Aire + 10%CO ₂		88.3 a	88.1 a	77.4 a
10%CO ₂		85.3 a	85.2 a	74.6 a

Valores dentro de la misma columna con diferentes letras son estadísticamente diferentes (Tukey<0.05).

5.1.2.5. Cambios en el contenido de sólidos solubles y azúcares.

Aunque no hubo un comportamiento generalizado del contenido de sólidos solubles, se observó un ligero incremento de los mismos durante los primeros 15 días de almacenamiento (Cuadro 9) no existiendo diferencia (en ese día) entre las distintas atmósferas estudiadas. Los cambios en este parámetro tampoco se han observado en otros materiales estudiados, así Portela y Cantwell (1998) reportaron que el contenido de sólidos solubles de cuatro variedades de melón honeydew procesado mínimamente, no mostraron diferencias significativas durante el tiempo de almacenamiento bajo atmósferas de aire y en atmósferas con aire + 10% CO₂.

El contenido de azúcares mostró un incremento más notable que el contenido de sólidos solubles; estos incrementos fueron apreciables desde el día 10 (en el cual hubo diferencias entre las atmósferas estudiadas) hasta el día 15 en el que todos los tratamientos fueron iguales. Al día 20 continuó el aumento del contenido de azúcares en casi todos los tratamientos estudiados. La excepción fueron los frutos tratados en atmósfera de aire, quienes disminuyeron su contenido de azúcares. Los tratamientos con los más altos valores al final del almacenamiento fueron los de aire + 10% CO₂ y 3% O₂ + 10% CO₂ (Cuadro 10).

Cuadro 9. Cambios en el contenido de sólidos solubles en tuna 'Cristalina' mínimamente procesada y almacenada a 2°C en diferentes atmósferas controladas.

Atmósfera	Inicial	Día de almacenamiento		
		10	15	20
Aire	12.3	13.2 ab	14.2 a	12.5 a
3%O ₂		12.7 a	13.7 a	12.8 ab
3%O ₂ + 10%CO ₂		13.7 ab	14.0 a	13.4 bc
Aire + 10%CO ₂		13.6 ab	13.7 a	13.7 c
10%CO ₂		13.9 b	13.9 a	13.1 abc

Valores dentro de la misma columna con diferentes letras son estadísticamente diferentes (Tukey<0.05).

Cuadro 10. Cambios en el contenido de Azúcares en tuna 'Cristalina' mínimamente procesada y almacenada a 2°C en diferentes atmósferas controladas.

Atmósfera	Inicial	Día de almacenamiento		
		10	15	20
Aire	14.486	14.7 ab	16.1 a	15.1 a
3%O ₂		16.8 b	15.3 a	15.9 ab
3%O ₂ + 10%CO ₂		13.9 a	15.5 a	16.7 b
Aire + 10%CO ₂		15.5 b	15.3 a	16.8 b
10%CO ₂		14.0 a	15.5 a	15.7 ab

Valores dentro de la misma columna con diferentes letras son estadísticamente diferentes (Tukey<0.05).

5.1.2.6. Cambios en el pH y contenido de acidez.

Con la excepción de los frutos almacenados en una atmósfera con 10% CO₂ en los primeros 10 días todos los frutos mostraron disminución en los valores de pH (Fig. 18A). Esto concuerda con lo observado por Siriphanich y Kader (1985) quienes encontraron que el pH citoplásmico del tejido de lechuga en aire fue 6.7 en tanto que en el tejido expuesto a 20% de CO₂ el pH fue de 6.3. Del día 10 al 20, las tunas almacenadas en las diferentes atmósferas presentaron un pH más alcalino, siendo éste mayor en las tunas almacenadas en 10% CO₂ con mínimos niveles de O₂; seguido por los tratados en aire. Los frutos almacenados en 3% O₂ + 10% CO₂ y en aire + 10% CO₂ mostraron valores de pH similares a los del día 0.

En la acidez titulable expresada como % de ácido cítrico se observó un comportamiento muy inestable (Fig. 18B), hasta el día 15 no se encontró diferencia entre las atmósferas empleadas. Al día 20 se observó una relación inversa entre el pH y el porcentaje de ácido cítrico, a mayor porcentaje de ácido cítrico menor pH. Los frutos almacenados en aire mostraron la menor concentración de ácido cítrico, en tanto que los tratados con 3% O₂ + 10% CO₂ y aire + 10% CO₂ fueron los que mayor contenido mostraron a este día.

5.1.2.7. % de pérdida de peso.

El comportamiento de pérdida fisiológica de peso se incrementó ligeramente a medida que transcurrió el tiempo de almacenamiento, no habiendo diferencia significativa entre las distintas atmósferas estudiadas (Cuadro 11).

La comparación con los datos de la primera etapa y con los valores reportados en la literatura en fruto intacto (Chessa y Schirra, 1992),. permite observar que la pérdida de peso fue menor para los frutos conservados en atmósferas controladas.

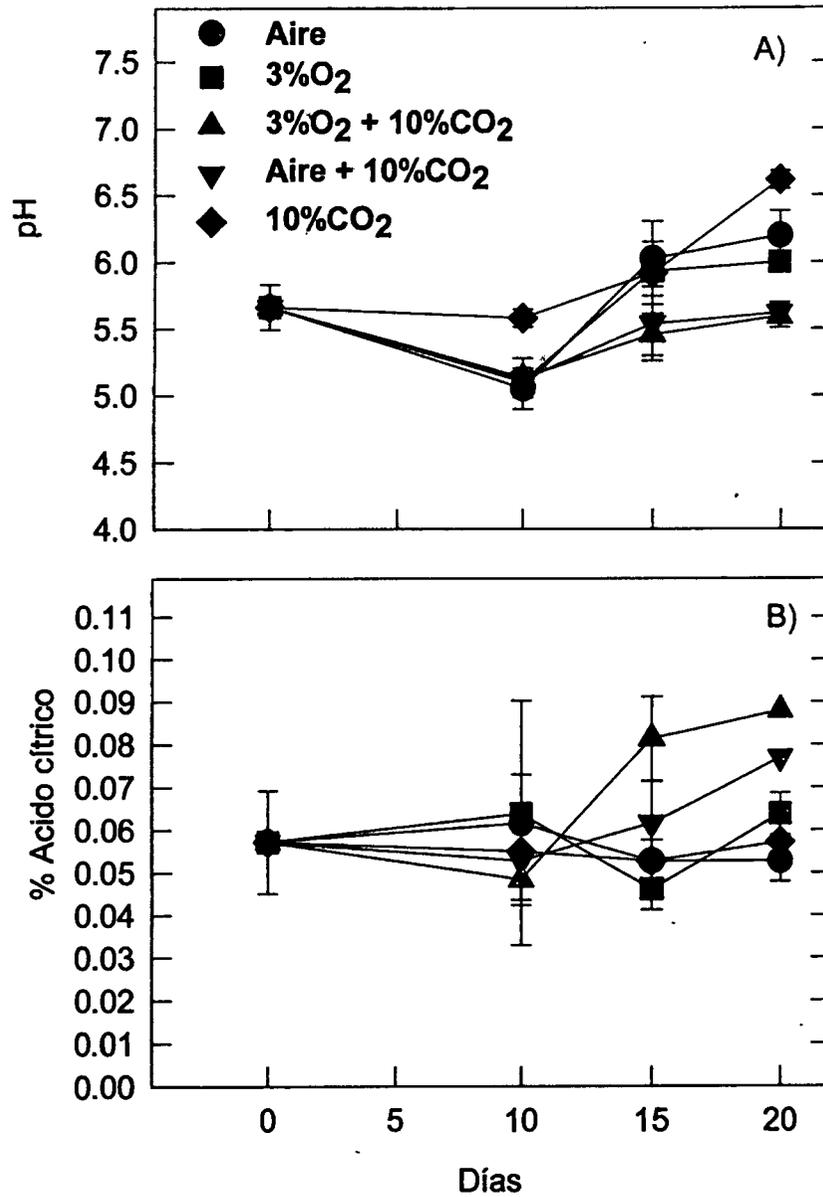


Figura 18. Cambios en el pH (A) y el % de ácido cítrico (B) en tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada a 2°C en atmósferas controladas.

Cuadro 11. % de pérdida de peso durante el almacenamiento de tuna 'Cristalina' mínimamente procesada a 2°C en diferentes atmósferas controladas.

Atmósfera	Inicial	Día de almacenamiento		
		10	15	20
Aire	0	0.5 a	1.0 a	0.6 a
3%O ₂		0.8 a	0.9 a	0.9 a
3%O ₂ + 10%CO ₂		0.8 a	0.6 a	1.7 a
Aire + 10%CO ₂		0.9 a	1.3 a	0.9 a
10%CO ₂		0.7 a	1.0 a	1.3 a

Valores dentro de la misma columna con diferentes letras son estadísticamente diferentes (Tukey<0.05).

Por los resultados obtenidos en este estudio, se puede indicar que las atmósferas controladas ayudaron a mantener los diferentes parámetros de calidad evaluados en la tuna mínimamente procesada. Presentaron buena calidad visual, disminuyeron el problema de oscurecimiento y el metabolismo de taninos condensados, conservaron el aroma y sabor característico de la tuna 'Cristalina'. Sin embargo, puede también decirse que las atmósferas con 10% de CO₂ mostraron mejores resultados para la conservación de este producto. Los anteriores resultados también llaman la atención en el sentido que pocos frutos han mostrado buena adaptación a la aplicación de la tecnología de productos mínimamente procesados como lo anota Gorny (1997), ésto indica que la tuna constituye uno de esos frutos que muestra muy buen potencial para su comercialización como producto mínimamente procesado.

Se han reportado diferentes trabajos en donde se indica los beneficios que las atmósferas controladas tienen en la conservación de productos mínimamente procesados, así López-Gálvez et al. (1997), reportaron los efectos benéficos de las atmósferas controladas en lechuga. A su vez Qi y Watada, (1997), señalaron los beneficios de la baja concentración de O₂ para mantener la calidad de manzana, pera y discos de fresa mínimamente procesadas. La calidad de lechuga cortada en tiras se mantiene en atmósfera controlada de 10%CO₂ y 3%O₂ (Barriga et al., 1991), y el oscurecimiento de col cortado en tiras se suprimió cuando se incrementó el contenido de CO₂ (Kaji et al., 1993). Agar et al., (1997) mencionan que los discos de Kiwi aumentaron su vida poscosecha de 9 a 12 días a 0.5°C en atmósferas de 4%O₂ + 10%CO₂.

También Portela y Cantwell (1998) encontraron que el melón mínimamente procesado logró conservar una buena calidad visual durante 12 días en atmósferas controladas sin observarse pudriciones macroscópicas y cambios menores de cromaticidad y del valor de luminocidad (L*).

5.2. Conservación de jícama mínimamente procesada en diferentes tipos de empaques.

5.2.1. Cambios en la composición de gases.

En el Cuadro 12 se muestra el comportamiento en la concentración de CO₂ dentro de los diferentes empaques. En el empaque con películas CP ésta permaneció constante en 0.3% durante todo el periodo de almacenamiento, debido a que eran películas perforadas lo que no permitía la acumulación de CO₂. En las películas PE, PD-961 y CP se pudo observar que la concentración de CO₂ disminuyó del 10% inicial a 4.22, 1.48 y 5.24% al día 16 respectivamente. Estos resultados mostraron que las películas permitieron la difusión del CO₂ a través de ellas y que la PD-961 fue la que mayor permeabilidad a los gases permitió. La película PD-961 es la que mayor permeabilidad al oxígeno y CO₂ acorde con los datos de su ficha técnica y lo reportado por Galetti et al. (1997).

5.2.2. Cambios en la calidad visual, presencia de oscurecimiento y superficie de deshidratación.

La calidad visual de los cilindros de jícama se conservó como excelente hasta el día 8 de almacenamiento a 5°C para todas las películas estudiadas (Fig. 19A), a partir del cual la calidad disminuyó; a los 12 días hubo diferencias importantes en este parámetro; los cilindros almacenados en películas PE, PD y el control (CT) manifestaron una calidad no aceptable para su consumo (<6), los cilindros almacenados en películas CP mostraron una buena calidad (7) y una calidad regular (6) al día 20 de almacenamiento. En cuanto al oscurecimiento, los cilindros almacenados en películas PD y CP no mostraron oscurecimiento durante 12 días (Fig. 19B); esto reproduce lo encontrado por Aquino-Bolaños (1998) cuando aplicó atmósferas controladas de aire + 10% de CO₂. A los 16 días todos los tratamientos mostraron un ligero oscurecimiento, sin encontrarse diferencias estadísticamente significativas entre ellos.

Cuadro 12. Comportamiento de la concentración interna de gases en cuatro diferentes empaques plásticos durante 16 días.

Películas	%CO ₂ inicial	%CO ₂ final
CT	0.3a	0.38a
PE	10b	4.22c
PD	10b	1.48b
CP	10b	5.24d

Valores dentro de la misma columna con diferentes letras son estadísticamente diferentes (Tukey<0.05).

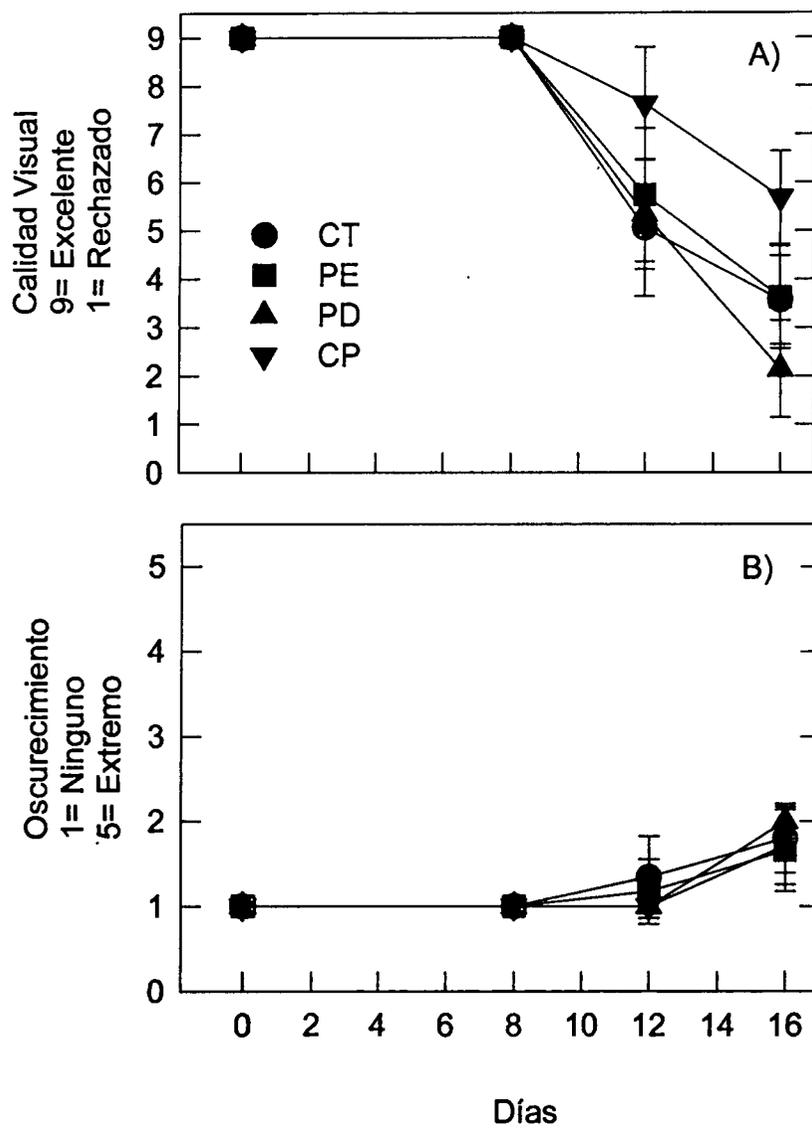


Figura 19. Cambios en la calidad visual (A) y oscurecimiento (B) de cilindros de jícama empacados en 4 diferentes películas con aire + 10%CO₂ y almacenados a 5°C.

En ninguno de los tratamientos se observaron problemas de deshidratación. Por lo que este parámetro no es importante para la selección del tipo de película. Estos resultados fueron esperados ya que todos los empaques mantienen una alta humedad relativa como lo anota Gorny (1997).

Dado que los problemas de oscurecimiento fueron ligeros en todos los tratamientos y que no se presentó deshidratación; los resultados de calidad visual, permiten indicar que la película CP fue la que conservó mejor la jícama mínimamente procesada.

5.2.3. Presencia de pudriciones en jícama mínimamente procesada almacenada a 5°C en cuatro tipo de películas con aire + 10% CO₂.

Durante los primeros ocho días de almacenamiento ninguno de los tratamientos mostró problemas de pudriciones (Fig. 20). A los 12 días los cilindros almacenados en películas PE y PD fueron los más afectados mostrando ligeras pudriciones, mientras que los almacenados en películas CP aún mostraban mínimos problemas de este tipo. Al día 16 todos los tratamientos mostraron presencia de pudriciones, siendo los almacenados en películas PD- 961 en los que el problema fue mayor, considerándose como severo y en la película CP en la que menor incidencia se tuvo (sin ser aceptables).

Estos resultados apoyan lo anotado por Wells y Uota (1970) y por Gorny (1997) quienes indicaron que los ambientes con niveles reducidos de O₂ y altos de CO₂ forman ambientes fungistáticos que aumentan la resistencia del tejido al ataque de los microorganismos. El desarrollo de microorganismos en películas PD-961 también fue observado por Coronado (1995) en tuna mínimamente procesada después de 12 días de almacenamiento a 4°C.

5.2.4. Cambios en la luminosidad, la cromaticidad y el ángulo de matiz.

La luminosidad se mantuvo casi constante en los 8 primeros días de almacenamiento y posteriormente tendió a disminuir hasta el día 16 en el que todos los

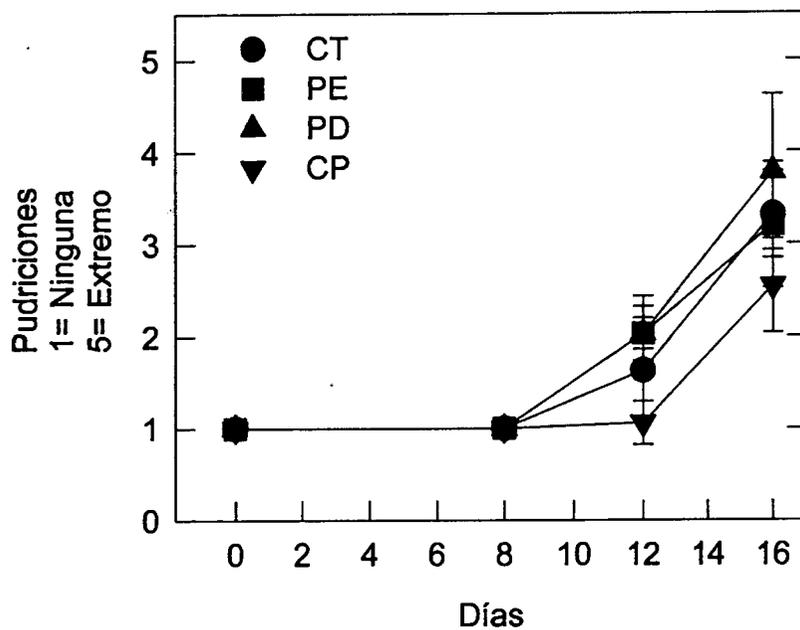


Figura 20. Presencia de pudriciones en cilindros de jícama empacados en 4 diferentes películas con aire + 10% CO₂ y almacenados a 5°C.

cilindros mostraron un decremento mayor en los valores de la luminosidad, los cilindros almacenados en película PD-961 fueron los que mostraron menores valores y aquellos almacenados en películas CT y CP fueron los que mayores valores de luminosidad (Cuadro 13).

Hasta el día 8, la cromaticidad se mantuvo constante (Fig. 21 A) sin encontrarse diferencias estadísticamente significativas entre los distintos tratamientos; al día 12 todos los cilindros mostraron un incremento en los valores de éste parámetro, siendo mayor en los almacenados en películas CT y PD-961 y finalmente a los 16 días hubo un incremento mayor en los valores de cromaticidad, no observándose diferencias entre las películas estudiadas.

El ángulo de matiz disminuyó después de ocho días respecto de los valores iniciales sin encontrarse diferencias entre los tratamientos (Fig. 21 B). Al día 12 los cilindros almacenados en CT y PD-961 fueron los que mostraron valores menores. Al día 16 todos los cilindros disminuyeron aun más su ángulo de matiz y en particular los almacenados en películas PD-961 (97), lo cual explica el ligero amarillamiento observado al hacer la evaluación subjetiva de color.

Los resultados encontrados para el día 12 de almacenamiento tanto en cromaticidad y ángulo de matiz permiten aseverar que la película que mejor conservó el color fue la CP y la que más propició el cambio de color fue la PD-961 y el control CT. Mateos et al., (1993) indicaron que el almacenamiento en atmósferas ricas en CO₂ pueden inhibir la síntesis de sustratos propios para las reacciones de oscurecimiento enzimático.

Cuadro 13. Cambios en la luminosidad de cilindros de jícama almacenados a 5°C en cuatro tipo de películas con aire + 10% CO₂.

Película	Inicial	Día de almacenamiento		
		8	12	16
CT	74.8	75.5 b	72.6 a	72.3 b
PE		74.3 a	73.9 b	71.4 ab
PD		74.7 ab	72.6 a	70.8 a
CP		75.1 ab	73.3 ab	72.2 ab

Valores dentro de la misma columna con diferentes letras son estadísticamente diferentes (Tukey<0.05).

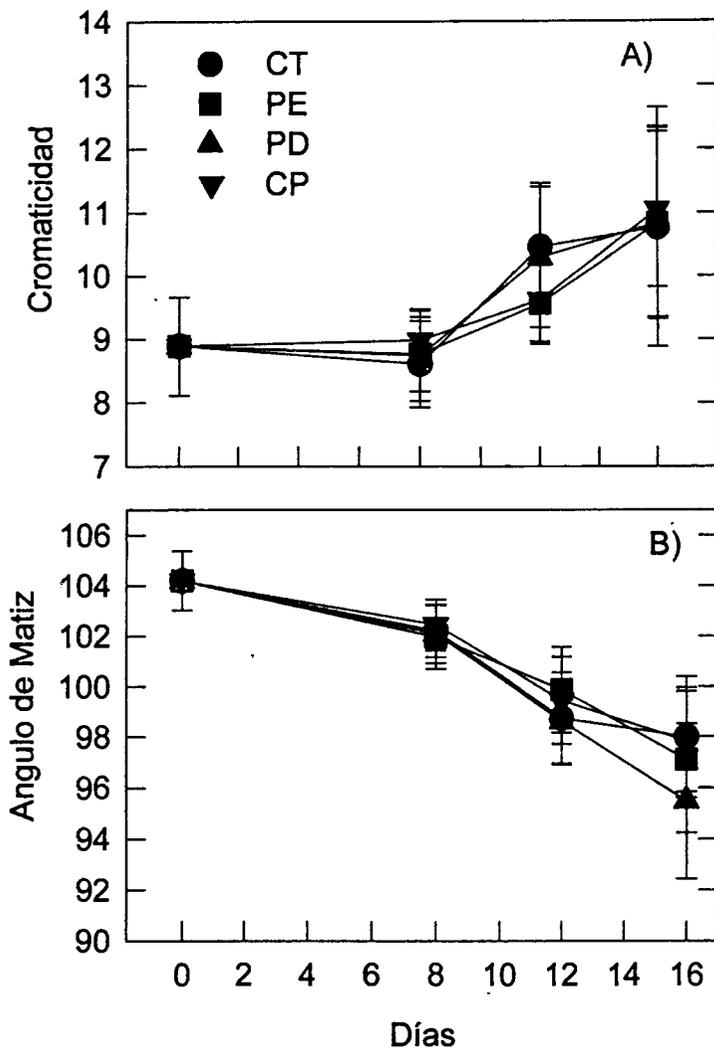


Figura 21. Cambios en la cromaticidad (A) y el ángulo de matiz (B) de cilindros de jícama empacados en 4 diferentes tipos de películas con aire + 10%CO₂ y almacenados a 5°C.

5.2.5. Cambios en el aroma y el sabor.

Durante ocho días de almacenamiento a 2°C todos los tratamientos conservaron íntegramente su olor característico (Fig. 22A). Posteriormente se observó una pérdida del mismo en todos los cilindros, excepto en los almacenados en película CP que lo conservaron durante 12 días. A los 16 días todos los cilindros empacados en las cuatro diferentes películas presentaron pérdida completa de olor característico, atribuible a la presencia de pudriciones como se anotó en la sección 5.2.3.

No se observaron cambios en el sabor durante ocho días de almacenamiento para ninguno de los tratamientos (Fig. 22B). A los 12 días únicamente los cilindros almacenados en película CP lograron conservar un buen sabor. Los almacenados en películas CT, PE y PD-961, no fueron analizados debido a la presencia de pudriciones. A los 16 días ninguno de los tratamientos fue analizado para este parámetro, debido a la presencia de pudriciones.

5.2.6. Cambios en la Textura.

El Cuadro 14, muestra los valores de fuerza necesaria para romper el tejido de cilindros de jícama almacenados en los cuatro diferentes tipos de empaque. Al día 0 se necesitaron aproximadamente 15.2 N, al día 8 se observó una ligera disminución que no fue estadísticamente significativa en este parámetro para los cilindros empacados en películas CP y PE. Al día 12 todos los cilindros mostraron nuevamente un incremento en la resistencia sin encontrarse diferencias significativas entre ellos. Al día 16 los cilindros almacenados en la película CT y PE registraron una mayor fuerza (15.9 N y 15.6 N) para romper el tejido que la requerida para los cilindros del día 0 (15.2N), mientras que los cilindros almacenados en películas CP y PD mostraron valores inferiores (14.8 N y 14.7 N) a los del día 0. García (1998) y Mercado-Silva y Cantwell (1998) así como Mercado-Silva et al (1998) indicaron que la medición de la fuerza para penetrar el tejido no fue un buen parámetro para evaluar la textura de la jícama y que era más recomendable utilizar el parámetro de distancia o profundidad al punto de ruptura ya que ésta mostró mejor correlación con la evaluación subjetiva de la firmeza.

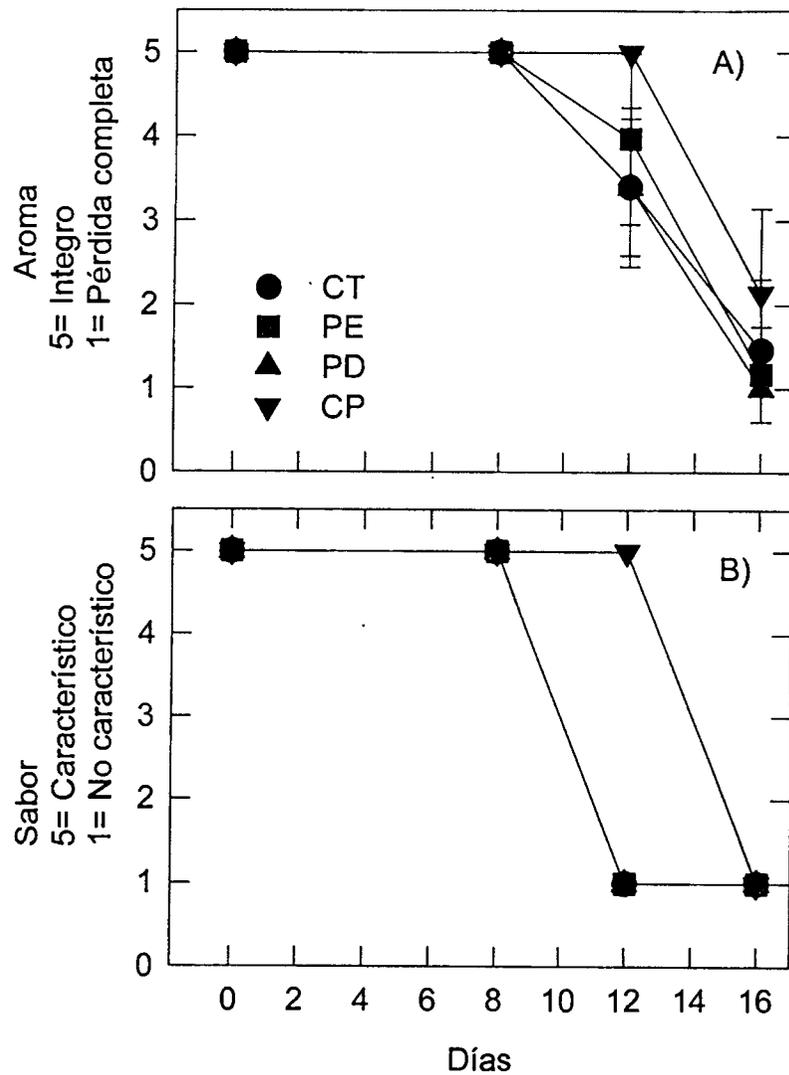


Figura 22. Cambios en el aroma (A) y el sabor (B) de cilindros de jícama empacados en 4 diferentes tipos de películas con aire + 10% CO₂ y almacenados a 5°C.

Cuadro 14. Cambios en la fuerza (N) necesaria para romper el tejido de cilindros de jícama almacenados a 5°C en cuatro diferentes tipo de empaques.

Película	Inicial	Día de almacenamiento		
		8	12	16
CT	15.2	15.7 a	15.0 a	15.8 c
PE		14.9 a	15.5 a	15.6 bc
PD		15.2 a	15.3 a	14.7 a
CP		15.1 a	15.1 a	14.8 ab

Valores dentro de la misma columna con diferentes letras son estadísticamente diferentes (Tukey<0.05).

La distancia al punto de ruptura de los cilindros almacenados en cuatro diferentes tipos de películas no mostró diferencias entre las diferentes películas hasta el día 12 (Fig. 23). En tanto que a los 16 días los valores se incrementaron para todos los casos sin encontrarse diferencias estadísticamente significativas entre las películas (Cuadro 15). El tratamiento que tuvo menor valor de distancia al punto de ruptura fue el de la película CP (1.5 mm), lo cual indica que fueron los que conservaron una estructura más compacta. Por otro lado los cilindros empacados en películas CT (control) fueron los que mostraron mayores valores (2.0 mm), es decir que tenían una estructura más esponjosa y permitían más fácilmente la penetración de la sonda en el tejido.

5.2.7. Cambios en el contenido de sólidos solubles.

El contenido de sólidos solubles en los cilindros almacenados en películas CP se mantuvo constante hasta el día 12 (5.6 °Bx) y el día 16 se incrementó ligeramente (Cuadro 16) pero manteniéndose por debajo de las otras películas estudiadas. En las demás películas su valor se mantuvo hasta el día 8 y después se incrementó ligeramente.

Los resultados anteriormente descritos permitieron indicar que la película CP probablemente mostró menor difusión al CO₂, lo cual pudo contribuir a conservar durante un tiempo mayor los diferentes parámetros de calidad de los cilindros de jícama.

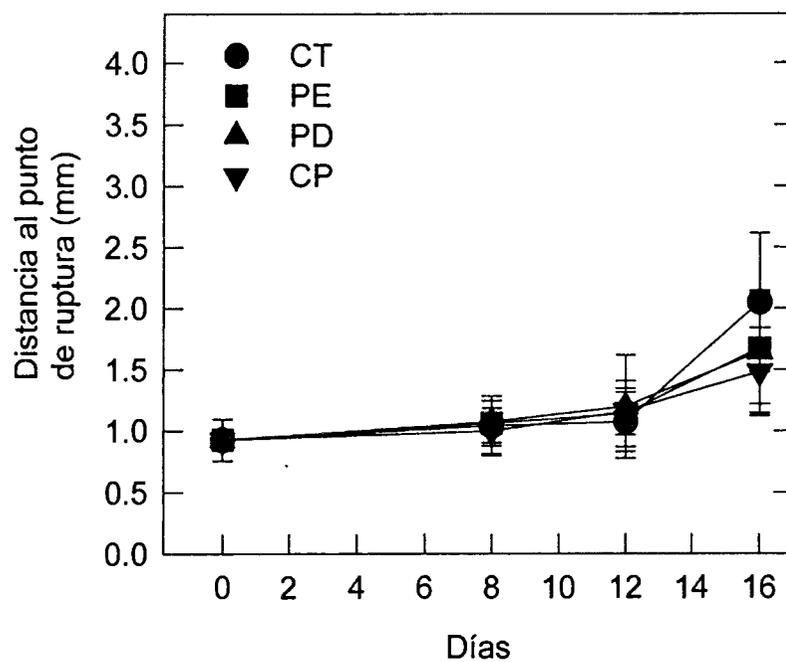


Figura 23. Cambios en la distancia al punto de ruptura en cilindros de jícama empacadas en 4 diferentes películas con aire + 10% CO₂ y almacenados a 5°C.

Cuadro 15. Cambios en la distancia al punto de ruptura de cilindros de jícama almacenados durante 16 días a 5°C en cuatro diferentes tipos de empaques.

Película	Distancia (mm)	
	Día inicial	Día final
CT	0.9	2.0b
PE		1.7a
PD		1.6a
CP		1.4a

Valores dentro de la misma columna con diferentes letras son estadísticamente diferentes (Tukey<0.05).

Cuadro 16. Cambios en el contenido de sólidos solubles en cilindros de jícama almacenados a 5°C en cuatro tipo de películas con aire + 10% CO₂.

Película	Inicial	Día de almacenamiento		
		8	12	16
CT	5.6	5.6 b	6.6 d	5.9 b
PE		5.5 a	6.4 c	5.9 b
PD		5.6 b	6.2 b	5.8 a
CP		5.6 b	5.6 a	6.0 c

Valores dentro de la misma columna con diferentes letras son estadísticamente diferentes (Tukey<0.05).

5.3. Almacenamiento de cilindros de jícama mínimamente procesada en película CP con atmósfera pasiva y activa.

Con el objeto de comparar el empaque en atmósferas modificadas en su forma activa y pasiva se eligió la película CP que mostró mejores resultados en la tercera etapa de este estudio y en ella se empacaron los cilindros de jícama.

5.3.1. Comportamiento de la concentración interna de gases.

En la Figura 24 se puede observar que en los cilindros de jícamas empacados con película CP y atmósfera activa (aire + 10% de CO₂), el porcentaje de CO₂ disminuyó con el tiempo de almacenamiento, mientras que, en los cilindros empacados con atmósfera pasiva se observó un ligero incremento en la concentración de CO₂ hasta alcanzar en ambos casos una concentración de 2% al día 12 y permaneciendo así hasta el final del almacenamiento. Este comportamiento mostró cierta similitud con los valores reportados en la tercera etapa.

5.3.2. Cambios en la calidad visual, color y superficie de deshidratación en cilindros de jícama.

En la Figura 25A, se observan los cambios en la calidad visual de cilindros de jícama almacenados en películas CP en los dos tipos de atmósfera consideradas. La calidad visual se mantuvo excelente (9) durante 12 días, después del cual disminuyó de forma similar para los dos tratamientos, sin embargo al día 16 aún conservaban una calidad mayor que la mínima aceptable (6). Al día 20 la calidad disminuyó aún más llegando a ser regular para ambos tratamientos pero aun aceptables.

Los cilindros almacenados en película CP con atmósfera pasiva no presentaron problemas de oscurecimiento en los dos tipos de atmósferas durante los doce y 16 días de almacenamiento (Fig. 25 B). A los 20 días los cilindros de ambos tratamientos mostraron un oscurecimiento mínimo (1.5 y 1.3), lo cual indicó que el tipo de atmósfera no influyó en el oscurecimiento.

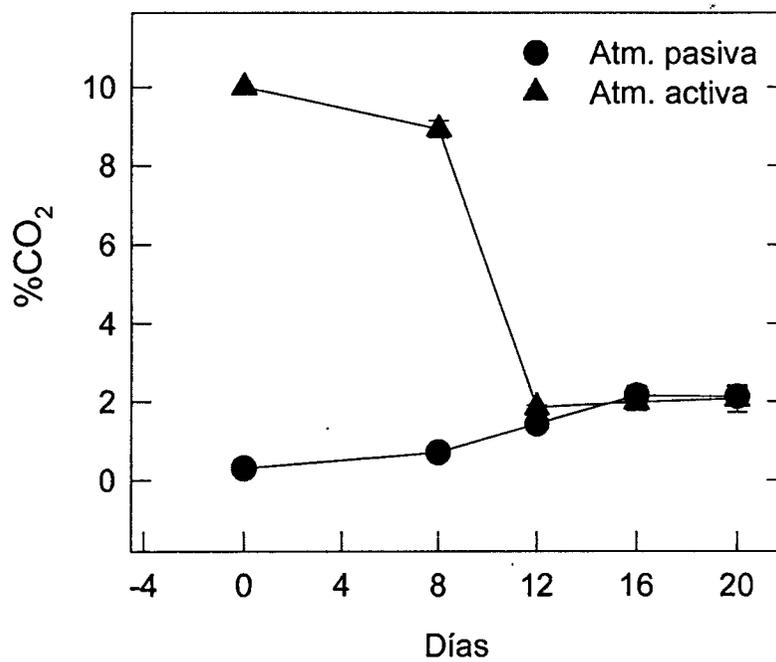


Figura 24 . Cambios en la concentración interna de CO₂ en el empaque de cilindros de jícama en película CP con atmósfera pasiva y activa (aire + 10%CO₂) y almacenados a 5°C.

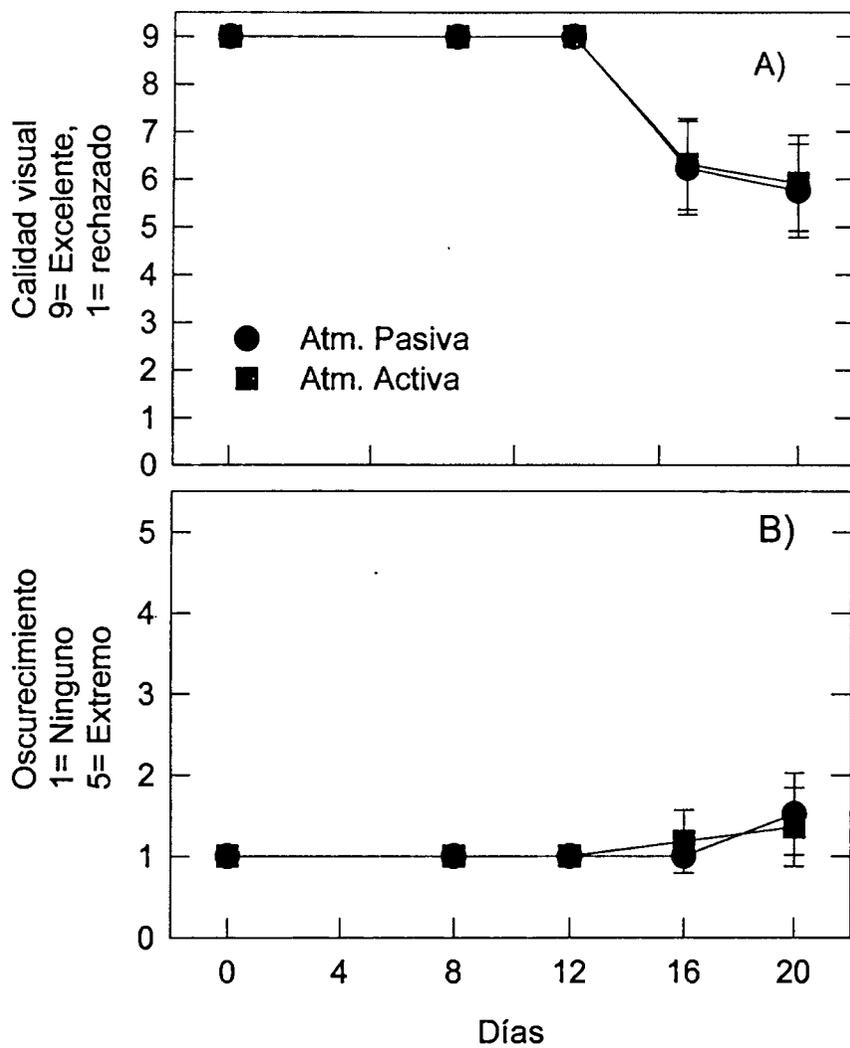


Figura 25. Cambios en la calidad visual (A) y el color (B) de cilindros de jícama almacenados a 5°C en película CP con atmósfera pasiva y atmósfera activa.

No se presentaron problemas de deshidratación durante los 20 días de almacenamiento en ninguno de los tratamientos.

5.3.3. Cambios en la luminosidad, el ángulo de matiz y la cromaticidad en cilindros de jícama almacenados en película CP con atmósfera pasiva y atmósfera activa.

La luminosidad se vio ligeramente disminuida conforme avanzaron los días de almacenamiento en ambas atmósferas consideradas (Cuadro 17). Sin embargo la atmósfera activa mostró mayores valores respecto de la pasiva al día 16 de almacenamiento. Sin embargo, los valores del ángulo de matiz se mantuvieron en la atmósfera activa en tanto que en la pasiva tendió a tener valores ligeramente superiores al final del almacenamiento (Cuadro 18). Estos resultados no permitieron definir cual de los dos sistemas fue el más adecuado.

No se observaron cambios significativos en los valores de cromaticidad en cilindros almacenados en atmósfera activa durante todo el período de almacenamiento, mientras que los cilindros almacenados en atmósfera pasiva mostraron una constante disminución, permaneciendo siempre por abajo de los valores obtenidos en el almacenamiento en atmósfera activa (Cuadro 19). El asociar tanto los valores de ángulo de matiz como los de cromaticidad, permitió observar que los cilindros tratados en atmósfera activa modificaron sus valores hacia valores de mayor pureza en tanto que aquellos colocados en atmósferas pasivas tuvieron una menor pureza, lo cual se puede interpretar como tonalidades con mayor proporción de grises.

Cuadro 17. Cambios en la luminosidad (L*) de cilindros de jícama almacenados a 5°C en película CP con Atmósfera Pasiva y Atmósfera Activa (aire + 10% CO₂).

Atmósfera	Día de almacenamiento				
	Inicial	8	12	16	20
A. Pasiva	74.3	72.2 a	71.4 a	70.7 a	71.1 a
A. Activa (10%CO ₂)		73.0 b	70.9 a	71.6 b	71.8 a

Valores dentro de la misma columna con diferentes letras son estadísticamente diferentes (Tukey<0.05).

Cuadro 18. Cambios en el ángulo de matiz en cilindros de jícama almacenados a 5°C en película CP con Atmósfera Pasiva y Atmósfera Activa (aire + 10% CO₂).

Atmósfera	Días de almacenamiento				
	Inicial	8	12	16	20
A. Pasiva	102.796	102.3 a	102.6 a	103.8 b	104.4 b
A. Activa (10%CO ₂)		102.5 a	102.6 a	102.9 a	103.0 a

Valores dentro de la misma columna con diferentes letras son estadísticamente diferentes (Tukey<0.05).

Cuadro 19. Cambios en la cromaticidad de cilindros de jícama almacenados a 5°C en película CP con Atmósfera Pasiva y Atmósfera Activa (aire + 10% CO₂).

Atmósfera	Día de almacenamiento				
	Inicial	8	12	16	20
A. Pasiva	8.8	8.2 a	8.5 a	8.4 a	8.0 a
A. Activa (10%CO ₂)		8.8 b	8.7 a	9.3 b	8.7 b

Valores dentro de la misma columna con diferentes letras son estadísticamente diferentes (Tukey<0.05).

5.3.4. Presencia de pudriciones.

A los 12 días de almacenamiento no se presentaron pudriciones en ninguno de los tratamientos. A los 16 y a los 20 días se tenían mínimos problemas de pudriciones (Fig. 26) sin hallarse diferencias estadísticamente significativas.

5.3.5. Cambios en el aroma y el sabor.

Durante 12 días de almacenamiento no se encontraron diferencias en el aroma de los cilindros almacenados en película CP bajo las dos diferentes condiciones atmosféricas. A los 16 días ambos mostraron cambios en el aroma encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre los dos tratamientos. Los cilindros almacenados en atmósfera pasiva conservaron mejor el aroma (3.56) que aquellos almacenados en atmósfera activa, los cuales presentaron un aroma moderado (3). Después de 20 días los cilindros almacenados en atmósfera pasiva aún conservaban un muy ligero olor a jícama, mientras que los almacenados en atmósfera activa presentaban pérdida completa de olor característico (Fig. 27A).

Los cambios en los compuestos volátiles de productos empacados en atmósferas controladas han sido descritos por varios autores como Song et al (1997) quienes hicieron un análisis de algunos compuestos del aroma de manzanas 'Gala' almacenadas en atmósferas con alta y baja presión de oxígeno, encontrando que algunos compuestos disminuyen su síntesis (por ejemplo el butil acetato, el 2 metil butil acetato y el hexil acetato), mientras que otros dejan de sintetizarse (como 4 metil oxialibenzeno, hexilhexanoato y el α farnesano) y otros nuevos aparecen (como el acetaldehído, etanol y el etil acetato).

El sabor característico de la jícama también se conservó íntegramente en los cilindros de ambos tratamientos durante 12 días de almacenamiento. Al día 16 los cilindros almacenados en atmósfera pasiva presentaban un sabor moderado, pero típico (3), mientras que en atmósfera activa presentaron un sabor cercano al típico (3.6) (Fig. 27B).

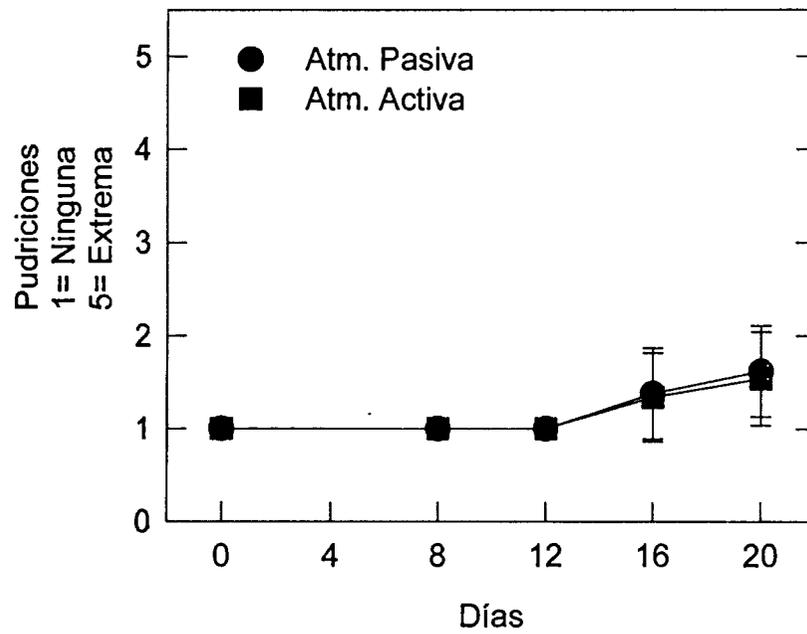


Figura 26. Presencia de pudriciones en cilindros de jícama almacenados a 5°C en película CP con atmósfera pasiva y atmósfera activa.

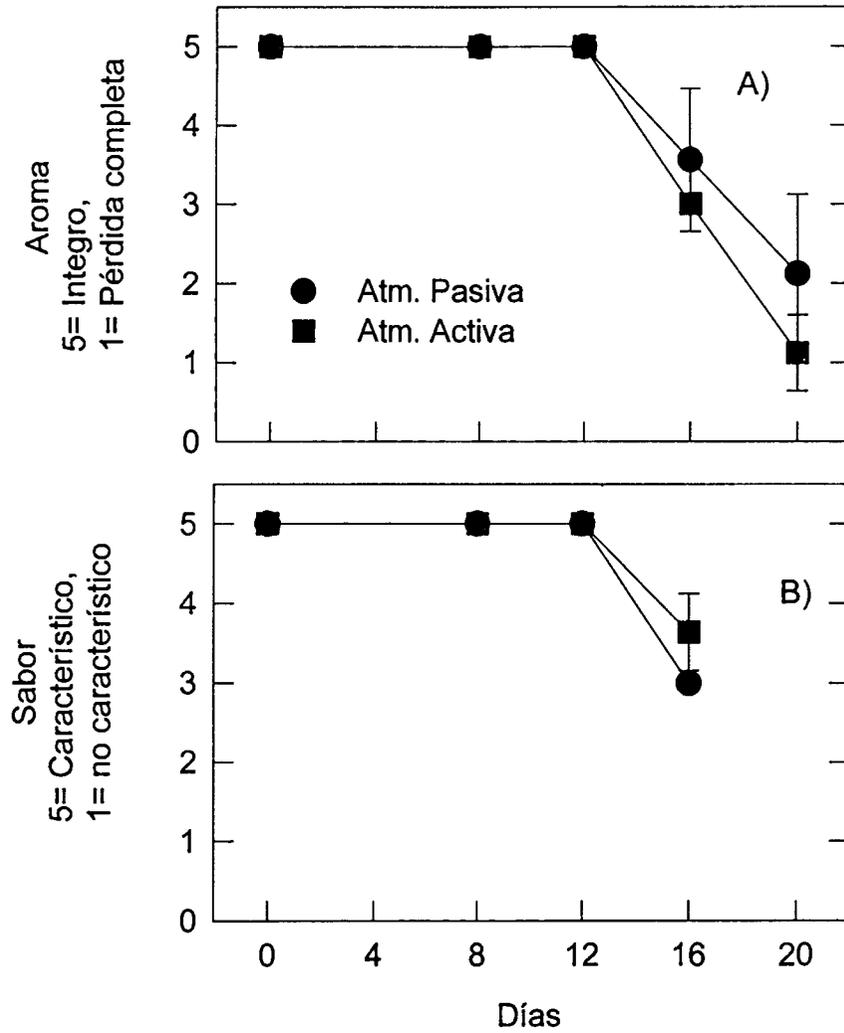


Figura 27. Cambios en el aroma (A) y el sabor (B) de cilindros de jícama almacenados a 5°C en película CP con atmósfera pasiva y con atmósfera activa.

Las evaluaciones de aroma y de sabor al día doce permiten mencionar que es igualmente recomendable el utilizar atmósferas activas como pasivas para la conservación de jícama mínimamente procesada, tiempos mayores provocan una disminución del aroma en la atmósfera activa sin menos cabo del sabor.

5.3.6. Textura.

La fuerza para la ruptura del tejido de jícama en las dos atmósferas consideradas indicó en términos generales que las muestras conservadas en atmósfera activa mantuvieron mejor su textura que los conservadas en atmósfera pasiva (Cuadro 20).

Durante los primeros 12 días de almacenamiento no se observaron cambios significativos respecto al día cero en los valores de distancia al punto de ruptura para los cilindros de ambos tratamientos (Fig. 28). A los 16 días estos valores se incrementaron ligeramente para aquellos cilindros almacenados en atmósfera activa (1.4 mm) y de manera considerable para los almacenados en atmósfera pasiva (1.9 mm). A los 20 días los cilindros registraron valores de 2.0 mm y de 2.9 mm de distancia al punto de ruptura para los almacenados en atmósfera pasiva y activa respectivamente.

5.3.7. Cambios en el contenido de sólidos solubles.

No se observaron diferencias en el contenido de sólidos solubles entre los cilindros de ambas atmósferas (Cuadro 21). (sin embargo se observó una disminución en el día ocho, seguido por un incremento considerable (de 5.8 al día 8 a 6.2 el día 12) al día 16 y una posterior disminución el día 20 hasta valores similares al día 0.

De acuerdo con los resultados encontrados en esta etapa del estudio, se puede indicar que la atmósfera activa mostró ligeras ventajas sobre el empacado en atmósfera pasiva para conservar la calidad, el color y la firmeza de jícama mínimamente procesada.

Cuadro 20. Fuerza (N) necesaria para romper el tejido en cilindros de jícama almacenados a 5°C en película CP con Atmósfera Pasiva y Atmósfera Activa (aire + 10% CO₂).

Atmósfera	Día de almacenamiento				
	Inicial	8	12	16	20
A. Pasiva	17.9	16.0 a	15.8 b	15.6 a	16.2 a
A. Activa (10%CO ₂)		17.3 b	14.9 a	16.0 b	17.0 b

Valores dentro de la misma columna con diferentes letras son estadísticamente diferentes (Tukey<0.05).

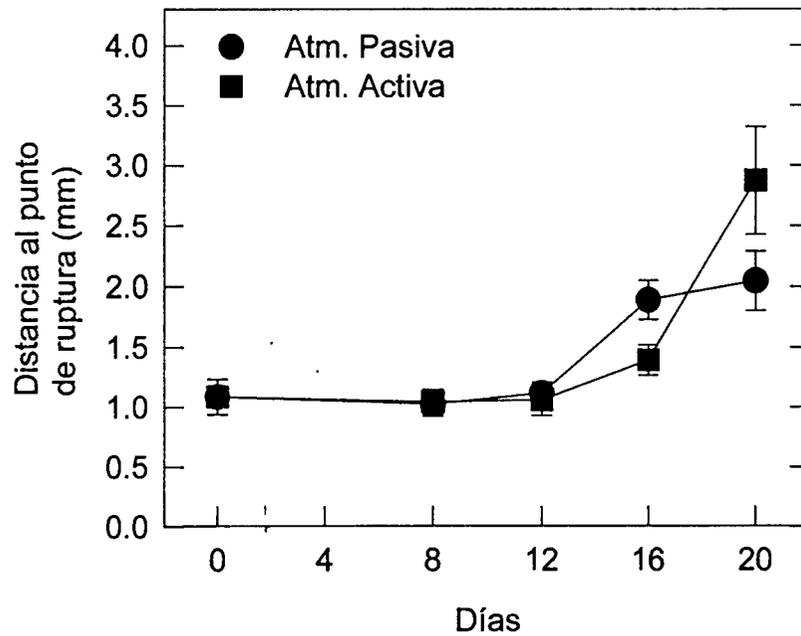


Figura 28. Cambios en la distancia al punto de ruptura de cilindros de jícama almacenados a 5°C en película CP con atmósfera pasiva y atmósfera activa.

Cuadro 21. Cambios en el contenido de sólidos solubles de cilindros de jícama almacenados a 5°C en película CP con Atmósfera Pasiva y Atmósfera Activa (aire + 10% CO₂).

Atmósfera	Inicial	Día de almacenamiento			
		8	12	16	20
A. Pasiva	6.0	5.8 a	6.2 a	6.2 a	6.0 a
A. Activa (10%CO ₂)		5.8 a	6.2 a	6.2 a	6.0 a

Valores dentro de la misma columna con diferentes letras son estadísticamente diferentes (Tukey<0.05).

Como recomendación puede decirse que si el tiempo de almacenamiento de los cilindros de jícama es de doce días; éstos se pueden empacar tanto en una atmósfera pasiva como en una atmósfera activa. Sin embargo, el menor costo de la primera hará tomar su elección. Para tiempos de 16 días de almacenamiento, la atmósfera activa tiene mayores ventajas.

6. CONCLUSIONES.

- La velocidad de respiración y producción de etileno de la tuna 'Cristalina' estuvo directamente relacionada con la temperatura de almacenamiento. Observándose que a mayor temperatura mayor tasa de producción de estos dos gases (CO₂ y etileno). En forma general se puede decir que la temperatura fue el factor más importante para conservar la calidad de la tuna 'Cristalina' mínimamente procesada.

- La menor tasa de respiración y producción de etileno se obtuvo a 2°C y fue similar al fruto intacto.

- Los fenoles condensados son responsables del cambio de color como lo muestra la alta relación lineal entre el contenido de fenoles y el cambio de color, tanto visual como a través del parámetro a*.

- A 6 y 10°C el oscurecimiento fue el factor más importante en el deterioro de la calidad de la tuna 'Cristalina' mínimamente procesada.

- La temperatura de 2°C fue el tratamiento que mejor ayudó a conservar la calidad de la tuna mínimamente procesada. Esta temperatura redujo la velocidad de respiración, la producción de etileno, el contenido de fenoles condensados, evitó el problema de oscurecimiento y logró conservar mejor el aroma y sabor característico del fruto fresco.

- Las atmósferas controladas ayudaron a disminuir de 40 a 80% el contenido de fenoles con respecto a los frutos almacenados en aire.

- El aroma y el sabor característico de la tuna se puede conservar íntegramente en el producto mínimamente procesado durante 15 días de almacenamiento a 2°C independientemente de la atmósfera de almacenamiento.

- Las atmósferas controladas que contenían 10% de CO₂ fueron las que en forma mas consistente mantuvieron la calidad de la tuna mínimamente procesada.

- El uso de película CP para empacar cilindros de jícama ayudó a conservar mejor la concentración de gases dentro del empaque, mostró mejor calidad visual y menores problemas de oscurecimiento y pudriciones.

- Si el tiempo de almacenamiento de los cilindros de jícama es de doce días; éstos se pueden empacar en una atmósfera pasiva. Sin embargo para tiempos de 16 días de almacenamiento, la atmósfera activa tiene mayores ventajas.

7. BIBLIOGRAFÍA.

- Abbott, J. A. 1973. Sensory Assessment of Textural Attributes of Foods. pp. 17-32. In A. S. Szczesniak(eds). Texture measurements of Foods. D. Reidel, Dordrecht, Holland.
- Abeles, F. B., Morgan, P. W. and Saltveit, M. E. 1992. Ethylene in plant biology. 2nd. ed. Academic, san Diego.
- Agar, I. T., Hess-Pierce, B. and Kader, A. A. 1997. Quality maintenance and physiology of fresh-cut kiwifruit slices. In: Gorny, J. R. (de). Proc. 7th Intl. Controlled Atmosphere Research Conf. University of California Davis, CA. Postharvest Hort. Series No. 10. Vol 5. p. 7.
- Alvarado, E. A. y Sosa, L. 1978. Fisiología y Bioquímica del desarrollo del fruto del nopal tunero (*Opuntia amyclaea* Tenore), Tesis de Maestría. Coloquio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Amador-Vargas, L. 1999. Efecto de la temperatura, relación área volumen y tratamientos térmicos sobre la calidad de la jícama mínimamente procesada. Tesis Profesional, Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- AOAC. 1997. Official Methods of Analysis, 16 ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington., V:A.
- Aquino-Bolaños, E. N. 1998. Efecto de la temperatura, Composición atmosférica, geometría y variedad en la conservación de jícama mínimamente procesada. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- Barbera, G., Aggabio, M., Carimi, F., Chessa, I., D'Hallewin, G., Forni, E., Gorini, F., Inglese, P., Martelli, S., Mulas, M., Nieddu, G., Polesello, A., Schirra, M., Scopelliti, G., Spano, D. 1993. Fico d'India (*Opuntia ficus-indica* Mill.). Inf. Agrario 1: 52-56.
- Barbera, G., Carimi, F., Inglese, P., Panno, M. 1992. Physical, morphological and chemical changes during fruit development and ripening in three cultivars of prickly pear, *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. J. Hort. Sci. 67(3): 307-312.
- Barriga, M. I., Trachy, G., Willemot, C. and Simard, R. E. 1991. Microbial changes in shredded iceberg lettuce stored under controlled atmospheres. J. Food Sci. 56: 1568-1588.
- Berrang, M. E., Brackett, R. E. and Beuchat, L. R. 1989. Growth of *Listeria monocytogenes* on fresh vegetables stored under a controlled atmosphere. J. Food Prot. 52:702-705.

- Borrego-Escalante, F. and N. Burgos-Vázquez. 1986. El Nopal. Universidad Autónoma Agraria 'Antonio Narro', Saltillo, México. 202 p.
- Brackett, R. E. 1987. Microbiological consequences of minimally processed fruits and vegetables. *J. Food Qual.* 10: 195-206.
- Brecht, J. 1995. Physiology of lightly processed fruits and vegetables. *HortScience* 30: 18-22.
- Bruton, B. D. 1983. Market and storage diseases of jicama. *J. Rio Grande Valley Hort. Soc.* 36: 29-34.
- Brutsch, M. O. and Zimmermann, H. G. 1993. The prickly pear [*Opuntia ficus-indica* (cactaceae)] in South Africa: utilization of the naturalized weed, and of the cultivated plants. *Econ. Bot.* 47(2): 154-162.
- Burns, K. J. 1995. Lightly Processed Fruits and Vegetables: Introduction to The Colloquium. *HortScience* 30(1): 14.
- Burton, W. G. 1982. Post-harvest Physiology of Food Crops. Longman. London.
- Butler, G., Larry; Price, L., Martin and Brotherton, F., Jeffery. 1982. Vanillin Assay for Proanthocyanidins (Condensed Tannins): Modification of the Solvent for Estimation of the Degree of Polymerization. *J. Agric. Food Chem.* 30: 1087-1089.
- Buysee, J. and Mercky, R. 1993. An Improved Colorimetric Method to Quantify Sugar Content of Plant Tissue. *J. of Exp. Bot.* 44(267): 1627-1629.
- Cantwell, M. 1991. Quality and Postharvest Physiology of Nopalitos and Tunas. Proc. Second. Annual Texas Prickly Pears Conference, Texas Prickly Pears Council, Mc. Allen Texas. 50-66 pp.
- Cantwell, M. 1995. Post-harvest management of fruits and vegetable stems. In. Agroecology cultivation and uses of cactus pear. Barbera G., Inglese P. and Pimienta-Barrios E. (eds). Food and Agriculture Organization of the United Nations. 120-136 pp.
- Cantwell, M. 1996a. Introduction in Fresh-cut Products: Maintaining Quality and Safety UC Davis Postharvest Hort. Series No. 10.
- Cantwell, M. 1996b. Fresh Cut Biology and Requirements en Fresh-cut Products: Maintaining Quality and Safety UC Davis Postharvest Hort. Series No. 10.
- Cantwell, M. 1998. Food Safety: Microbiological Concerns. En Fresh-Cut Products: Maintaining Quality and Safety UC Davis Postharvest Hort. Series No. 10.
- Cantwell, M., Orozco, W., Rubatzky, V. and Hernández, L. 1992. Postharvest handling and storage of jicama roots. *Acta Hort.* 318: 333-343.

- Cantwell, M., Rodríguez-Felix, A., Robles-Contreras, F. 1992. Postharvest physiology of prickly pear cactus stems. *Scientia Horticulturae* 50(1-2):1-9.
- Casanueva, E. 1995. Catzotl, raíz que mana jugo. *Cuadernos de Nutrición*. 18(1): 30-34.
- Castillo-Castillo, M. and Pimienta-Barrios, E. 1990. Comercialización del nopal (*Opuntia* spp.) tunero en la zona centro de México. *Memorias de la III Reunión Nacional y I Reunión Internacional, El Nopal: su conocimiento y aprovechamiento*. Universidad Autónoma Agraria 'Antonio Narro', Saltillo, México. 336-343 pp.
- Centro de Estadística Agropecuaria, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. 1997.
- Charley, H. 1991. *Tecnología de Alimentos*, Ed. Limusa, S.A. de C.V., México D.F. 662-665 pp.
- Chávez-Franco, S. y Saucedo-Veloz, C. 1985. Conservación en refrigeración de dos variedades de tunas. *Horticultura Mexicana* 1(1):6-13.
- Chessa, I. and Barbera, G. 1984. Indagine sulla frigoconservazione dei frutti della cv gialla di ficodindia. *Riv. Fruttic.* 46(8): 57-61.
- Chessa, I. and M. Shirra. 1992. Prickly pear cv. 'Gialla': intermittent and constant refrigeration trials. *Acta Hort.* 296: 129-137.
- Cisneros-Zevallos, L.; Saltveit, M.E. and Krochta, J.M. 1995. Mechanism of surface white discoloration of peeled (minimally processed) carrots during storage. *J. Food Sci.* 60:320-323.
- Coronado, G. I. 1995. Evaluación de empaques experimentales para conservación de Tuna 'Cristalina' (*Opuntia* sp.) mínimamente procesada. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico de Monterrey 'Campus Querétaro', México.
- Cotter, D. J. and Gómez, R. E. 1979. Daylength: effect on root development of jícama (*Pachyrhizus erosus* L. Urban). *HortScience* 14:733-734.
- Crivelli, G. and Nani, R. 1993. Utilizzazione industriale della frutta tropicale e subtropicale. *Inf Agrario*. 49(1):93-96.
- Crosby, N. T. 1981. *Food Packaging Material-Aspects of Analysis and Migration of Contaminants*. Essex: Applied Science Publishers.
- Del Castillo, R. F. and Trujillo, S. 1991. Ethnobotany of *Ferocactus histrix* and *Echinocactus platyacanthus* (*Cactaceae*) in the semiarid central Mexico: past, present and future. *Econ. Bot.* 45(4): 495-502.

- Del cura, B., Escribano, M., Zamorano, J. and Merodio, C. 1996. High carbon dioxide delays postharvest changes in RuBPase and polygalacturonase-related protein in chirimoya peel. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121(4):735-739.
- Di Cesare, L.F., Testoni, A. and Sansavini, G. 1993. Studio dei componenti volatili del fico d' India durante la conservazione in atmosfera normale e controllata. *Ind. Aliment.* 32(7-8): 725-733.
- Domínguez, L. A. 1995. Use of the fruits and stems of the prickly pear cactus (*Opuntia spp.*) into human food. *Food Science and Technology International* 1: 65-74.
- Ewaidah, E. H. and Hassan, B. H. 1992. Prickly pear sheets: a new fruit product. *J. Food Sci Technol.* 27: 353-358.
- Exama, A., Arul, J., Lencki, R. W., Lee, L. Z. and Toupin, C. 1993. Suitability of Plastic Films for Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables. *J. of Food Science* 58(6):1365-1369.
- Fernández, M. R. and Mondragón, J. C. 1996. Colecta, Conservación, Estudio y Utilización de Recursos Genéticos de Nopal (*Opuntia spp.*). Proyecto de Investigación del Nopal Tunero. CE-Norte de Gto. INIFAP. SARH:
- Flores-Valdez, A. C., Luna-Esquivel, J. L. y Ramírez-Moreno. 1995. Mercado Mundial de la Tuna. Universidad Autónoma de Chapingo, Estado de México.
- Galetti, L., Berger, H., Escalona V., Saenz C. and Araya, E. 1997- Modified atmospheres and ascorbic acid for minimum process of carrots slices. CA 97 Proceedings Fresh cut fruits and vegetables and MAP. 7th International Controlled atmosphere Research Conference (Gorny R. De). p 139
- García, R. 1998. Cambios relacionados con el daño por frío en los ácidos grasos del fosfatidilglicerol y fosfatidilcolina de la membrana plasmática y en los niveles de antioxidantes naturales de jícama (*Pachyrhizus erosus*). Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- Goodburn, K. E. and Halligan, A. C. 1988. Modified Atmosphere Packaging: A Technology Guide, Leatherhead Food, RA.
- Gorny, J. R. 1997. A summary of CA and MA requirements and recommendations for fresh-cut (minimally processed) fruits and vegetables. En Gorny, J.R. (Ed). Proc. 7th Intl. Controlled Atmosphere Research Conf. University of California Davis, CA. Postharvest Hort. Series No. 10. (5): 30-66.
- Gorny, R. J. 1998. Fresh Cut Product Preparation. En Fresh-Cut Products: Maintaining Quality and Safety UC Davis Postharvest Hort. Series No. 10.
- Gorny, R. J. and Kader, A. A. 1996. Fresh Cut Fruit Products. En Fresh-Cut Products: Maintaining Quality and Safety UC Davis Postharvest Hort. Series No. 10.

- Granados-Sánchez, D. and Castañeda-Pérez, A. D. 1991. El Nopal. México: Editorial Trillas.
- Greengras, J. 1995. Films para envasado en atmósfera modificada. En Parry, R. T. (1995). Envasado de los Alimentos en Atmósfera Modificada. A. Madrid Vicente, Ediciones. Madrid, España.
- Guzmán-Romero, G. 1982. Causas y control de los daños que exhibe la Tuna Blanca (*Opuntia* sp.) en el almacenamiento. Tesis de Maestría, Escuela Nacional de Fruticultura, Comisión Nacional de Fruticultura, México, D.F. 143 pp.
- Hall, M. A., Cairns, A. J., Evans, D. E., Smith, A. R., Smith, P. G., Taylor, J. E. and Thomas, C. J. R. 1982. Binding sites for ethylene. En "Plant Growth Substances. Academic Press". London . 375-383 pp.
- Hansche, P. E. and B. Boynton. 1986. Heritability of enzymatic browning in peaches . HortScience 21:1195-1197.
- Heredia-Zepeda, A. 1996. El cultivo de la jícama (*Pachyrhizus erosus* (L) Urban) en la región del Bajío en el estado de Guanajuato, México. Segundo Simposium Internacional de Tuberosas. 167-174 pp.
- Hotchkiss, J. H. 1988. Experimental approaches to determining the safety of food packaged in modified atmospheres. Food Technol. 42(9): 55, 60-64.
- Hyodo, H., Kuroda, H. and Yang, S. F. 1978. Induction of phenylalanine-ammonia lyase and increase in phenolics in lettuce leaves in relation to the development of russet spotting caused by ethylene. Plant Physiol. 62: 31-35.
- Hyodo, H., Tanaka, K. and Suzuki, T. 1991. Wound-induced ethylene synthesis and its involvement in enzyme induction in mesocarp tissue of *Cucurbita maxima*. Postharvest Biol. Tech. 1: 127-136.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 1997. Cultivos Anuales de México. VII Censo Agropecuario. México, D.F. 244-231 pp.
- Joubert, E. 1993. Processing of the fruit of five prickly pear variedades grown in South Africa. J. Food Sci Technol 28:377-387.
- Juárez-Goiz, J. M. S. 1994. Conservación de jícama por métodos combinados. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- Juárez, S. M. and Paredes-López, O. 1994. Studies on jicama juice processing. Plant Foods for human nutrition. 46:127-131.
- Kader, A. A. 1986. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. Food Technology. 40(5):99-104.

- Kader, A. A., Lipton, W. J. and Morris, L. L. 1973. Systems for Scoring Quality of Harvested lettuce. *HortScience* 8: 408-410.
- Kader, A. A. and Mitcham, E. 1998. Standarization of quality. En *Fresh-Cut Products: Maintaining Quality and Safety* UC Davis Postharvest Hort. Series No. 10.
- Kader, A. A., Zagory, D. and Kerbel, E. L. 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Critical Rew. Food Science and Nutrition*. 28:1-23.
- Kaji, H., Ueno, M. and Osajima, Y. 1993. Storage of shredded cabbage under a dynamically controlled atmosphere of high oxygen and high carbon dioxide. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 57: 1049-1052.
- Ke, D. and Kader, A. A. 1992. Potential of controlled atmospheres for postharvest insect disinfestation of fruits and vegetables. *Postharvest News and Information* 3:31-37.
- Ke, D. and Saltveit, M. E. 1989. Wound-induced ethylene production, phenolic metabolism, and susceptibility to russet spotting in Icerbeg lettuce. *Physiol. Plant.* 76: 412-418.
- Kuti, J. O. 1992. Growth and compositional changes during the development of prickly pear fruit. *J. Horticultural Science.* 67(6): 861-868.
- Lakshminarayana, S., Alvarado-Sosa, L. and Barrientos-Pérez, F. 1979. The development and postharvest physiology of the fruit of prickly pear (*Opuntia amyclaea* tenore). In *Tropical Food: Chemistry and Nutrition*, Vol. 1 (Inglett, G.E., Charalambous, G., Eds.), London: Academic Press.
- Lakshminarayana, S. and Estrella, I. B. 1978. Postharvest respiratory behaviour of tuna (prickly pear) fruit (*Opuntia robusta* Mill.). *J. Hort. Sci.* 5: 327-330.
- Lara-López, A. 1993. Herramientas para cosecha de tunas (higos chumbos). *Máquinas y Tractores Agrícolas* 4(6): 68-70.
- Lattanzio, V., Cardinali, A., Di Venere, D., Linsalata, V. and Palmieri, S. 1994. Browning phenomena in stored artichoke (*Cynara scolymus* L.) heads: enzymatic or chemical reactions?. *Food Chem.* 38: 1-7.
- Lercker, G., Lerici, C.R. and Capella, P. 1976. Caratteri chimici del fico d'India (*Cactus Opuntia*). 1: carboidrati e lipidi del frutto. *Riv. Ital. Sostanze Grasse* 53 (10): 250-254.
- Lipton, W. 1980. Interpretation of quality evaluations of horticultural crops. *HortScience* 15(1): 64-67.

- López-Galvez, G., El-Bassouni, R., Nie, X. and Cantweel, M. 1997. Quality of red and green fresh-cut peppers stored in controlled atmospheres. En Gorny, J. R. (de). Proc. 7th Intl. Controlled Atmosphere Research Conf. University of California Davis, CA. Postharvest Hort. Series No. 10. Vol 5. pp. 152-157.
- López-Galvéz, G., Saltveit, M. and Cantwell, M. 1996. Wound-induced phenylalanine ammonia lyase activity: factors affecting its induction and correlation with the quality of minimally processed lettuces. Postharvest Biol. Tech. 9: 223-233.
- Mannapperuma, J. D. and R. P. Singh. 1990. Modeling of gas exchange in polymeric packages of fresh fruits and vegetables. (p. 227), 1990 IFT Annual Meeting. Anaheim, CA.
- Martínez, M. 1959. Plantas Útiles de la Flora Mexicana. Jícama. 340-344.
- Mateos, M., Ke, D., Cantwell, M. and Kader, A. A. 1993. Phenolic metabolism and ethanolic fermentation of intact and cut lettuce exposed to CO₂ - enriched atmospheres. Postharvest Biol. Tech. 3: 225-233.
- McGuire, R. G. 1992. Reporting of objective color measurements. HortScience 27: 1254-1260.
- Mercado-Silva, E. and Cantwell, M. 1998. Quality Changes in jicama roots stored at chilling and nonchilling temperatures. J. Food Quality 21: 211-221.
- Mercado-Silva, E., García, R., Heredia-Zepeda, A. and Cantwell, M. 1998. Development of chilling injury in five jicama cultivars. Postharvest Biol. Tech. 13: 37-43.
- Miller, A. R. 1992. Physiology, biochemistry and detection of bruising (mechanical stress) in fruits and vegetables. Postharv. News & Info. 3: 53-58.
- Minolta Corporation Manual. 1994. Precise Color Communication. pp. 10-11. Minolta Corporation Instrument System Division, Ramsey, NJ.
- Mondragón, J. C. 1993. La Tuna: fruta que ofrece mucho más que ahuates y semillas. Cuadernos de Nutrición. 16(4):10-15.
- Mondragon, J. C. and G. S. Pérez. 1994. Reyna (Syn Alfajayucan) is the leading cactus pear cultivar in central Mexico. Fruit. Var. J. 48: 134-136.
- Montiel-Rodríguez, S. M. 1986. Producción y calidad de frutas maduras de 9 selecciones de Tuna Blanca (*Opuntia amyclaea*) en la costa de Hermosillo, Sonora. Tesis profesional, Univ. de Sonora, Hermosillo, Sonora, México. 54 pp.
- O'Beirne, D. 1990. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. pp. 183-199. In: T. R. Gormley (de.). Chilled foods. The state of the art. Elsevier Science Publishing Co., New York.

- Parry, R. T. 1995. Envasado de los Alimentos en Atmósfera Modificada. A. Madrid Vicente, Ediciones. Madrid, España.
- Paull, R. E. and Chen, N. J. 1988. Compositional changes in Yam Bean during storage. HortScience 23:194-196.
- Peiser, G., López-Gálvez, G., Cantwell, M. and Saltveit, M. E. 1998. Phenylalanine ammonia-lyase do not prevent russet spotting development in lettuce midribs. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 123(4): 687-691.
- Pimienta-Barrios, E., Engleman, E. and Rosas, P. 1985. Desarrollo de la pulpa y proporción en volumen de los componentes de los lóculos de la tuna. Agrociencia 62:51-56.
- Pintos- Cortés, B. 1973. Cultivo de la Jícama. Tierra. 28(6):454-457, 471.
- Piña-Lujan, I. 1970. Región productora de tuna en el Estado de Zacatecas. Cact. Suc. Mex. 55: 64-72.
- Portela S., Nie, X., Suslow, T. and Cantwell, M. 1997. Changes in sensory quality and fermentative volatile concentration of minimally processed cantaloupe stored in controlled atmospheres. En Gorny, J. R. (de). Proc. 7th Intl. Controlled Atmosphere Research Conf. University of California Davis, CA. Postharvest Hort. Series No. 10 Vol 5. pp. 123-129.
- Portela, I. S. and Cantwell, M. 1998. Quality changes of minimally processed honeydew melons stored in air or controlled atmosphere. Postharvest Biology and Technology 14:351-357.
- Qi, L. and Watada, A. E. 1997. Quality changes of fresh-cut fruits in CA storage. En Gorny, J. R. (de). Proc. 7th Intl. Controlled Atmosphere Research Conf. University of California Davis, CA. Postharvest Hort. Series No. 10 Vol 5. pp. 116-121..
- Ramsey, G. B., Friedman, B. A. and Smith, M. A. 1959. Market Diseases of Beets, Chicory, Endive Escarok, Globe, Artichokes, Lettuce, Rhubarb, Spinach, and Sweet Potatoes. U.S.A. Dept. Agric. Handbook.155.
- Retamal, N., Durán, J. M. and Fernández, J. 1987. Ethanol production by fermentation of fruits and cladodes of prickly pear cactus [*Opuntia ficus- indica* (L.) Miller]. J. Sci. Food Agric. 40(3): 213-218.
- Rolle, R. S. and Chism, G. W. 1987. Physiological consequences of minimally processed fruits and vegetables. J. Food Quality 10:157-177.
- Romero, F., Riquelme, F., Pretel, M. T., Martínez, G., Serrano, M., Martínez, C., Lozano, P., Segura, P. and Luna, P. A. 1996. Nuevas tecnologías de conservación de frutas y hortalizas. Cuadernos Value.

- Rosen, J. C. and Kader, A. A. 1989. Postharvest physiology and quality maintenance of sliced pear and strawberry fruits. *J. Food Sci.* 54:656-659.
- Russell, C. and Felker, P. 1987. Comparative cold-hardiness of *Opuntia* spp. and cvs grown for fruit, vegetable and fodder production. *J. Hortic Sci.* 62(4): 545-550.
- Sawaya, W. N., Khatchadourian, H. A., Safi, W. M. and Al-Muhammad, H. M. 1983. Chemical Characterization of prickly pear pulp, *Opuntia ficus-indica*, and the manufacturing of prickly pear jam. *J. Food Technol* 18(2): 183-193.
- Schlimme, V. D. and Rooney, L. M. 1997. Envasado de Frutas y Hortalizas Mínimamente Procesadas. En Wiley, C. R. (ed.) *Frutas y Verduras Mínimamente Procesadas Y Refrigeradas*. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1992. Sistema -Producto Nopal y Tuna. Datos Básicos México.
- SECOFI. Varios años. Base de datos SICMEX, México, D.F. En *Mercado Mundial de la Tuna*. 1995. Universidad Autónoma de Chapingo, Estado de México.
- Sepúlveda, E. and Sáenz, C. 1990. Características químicas y físicas de pulpa de tuna (*Opuntia ficus-indica*). *Rev. Agroquim. Tecnol. Aliment.* 30: 551-555.
- Shewfelt, R. L. 1987. Quality of minimally processed fruits and vegetables. *J. Food Quality* 10:143-156.
- Siriphanich, J. and Kader, A. A. 1985. Effects of CO₂ on total phenolics, phenylalanine ammonia lyase, and polyphenol oxidase in lettuce tissue. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110: 249-253.
- Smith, J. P., H. S. Ramaswamy and B. K. Simpson. 1990. Developments in food packaging technology. Part II: storage aspects. *Trends Food Sci. Technol.* 1(5):111-118.
- Song, J., Deng, W., Fan, L., Verschoor, J. and Beaudry, R. 1997. Aroma Volatiles and Quality Changes in Modified Atmosphere Packaging. In Gorny, J. R. (ed). *Proc. 7th Intl. Controlled Atmosphere Research Conf.* University of California Davis, CA. *Postharvest Hort. Series No. 10 Vol 5.* pp. 89-95.
- Sorensen, M. 1990. Observations on distribution, ecology and cultivation of the tuber-bearing legume genus *Pachyrhizus* Rich. ex DC. pp. 1-38. Agricultural University Wageningen, Netherlands.
- Sørensen, M. 1996. Yam bean (*Pachyrhizus* DC). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/ International Plant Genetic Resources Institute, Rome. 55 pp.

- Watada, A. E., Abe, K. and Yamauchi, N. 1990. Physiological activities of partially processed fruits and vegetables. *Food Technol.* 44(5):116-122.
- Watada, A., Ko, N. and Minott, D. 1996. Factor affecting quality of fresh-cut horticultural products. *Postharvest Biol. Tech.* 9: 115-125.
- Wells, J. M. and Uota, M. 1970. Germination and growth of five fungi in low-oxygen and high carbon dioxide atmospheres. *Phytopathology.* 60: 50-53.
- Wigginton, M. J. 1974. Effects of temperature, oxygen tension and relative humidity on the wound-healing process in the potato tuber. *Potato Rew.* 17:200-214.
- Wiley, C. R. 1997. *Frutas y Verduras Mínimamente Procesadas y Refrigeradas.* Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- Zagory, D. 1998. Controlled and Modified Atmospheres for Fresh-Cut Products: Film Technology and Selection. En *Fresh-Cut Products: Maintaining Quality and Safety* UC Davis Postharvest Hort. Series No. 10.
- Zagory, D. and Kader, A. A. 1988. Modified atmosphere packaging of fresh produce. *Food Technol.* 42(9):70-77.

APÉNDICE

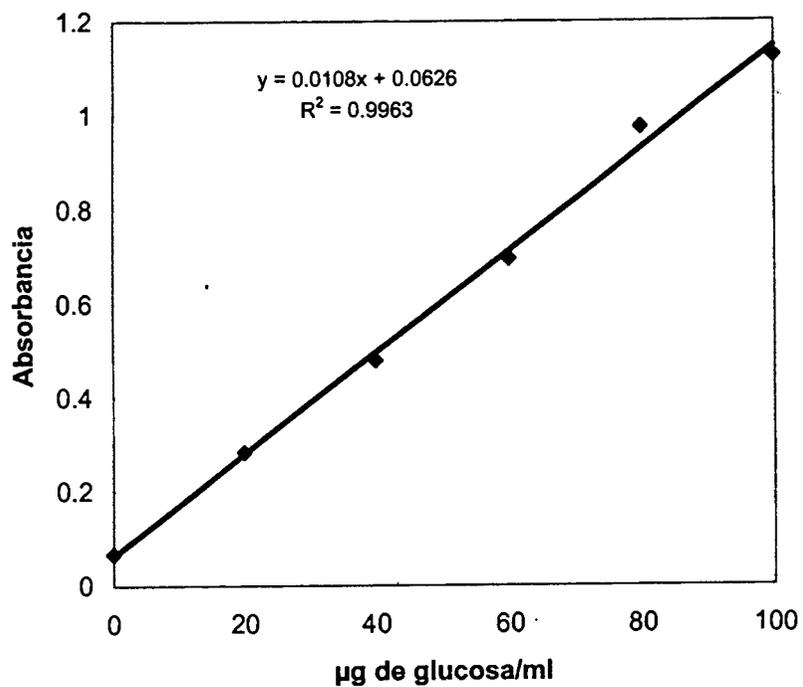


Figura A1. Curva de calibración para determinar la concentración de azúcares.

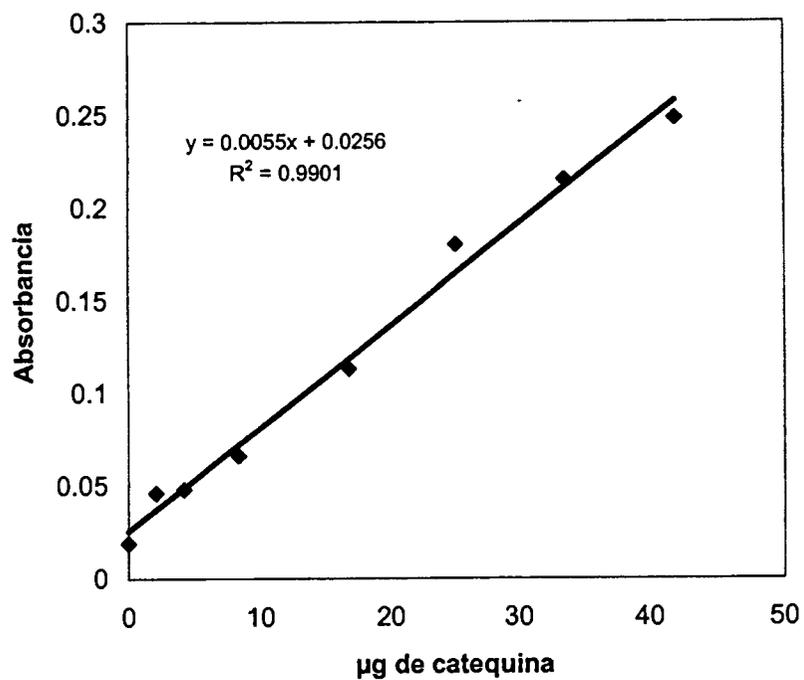


Figura A2. Curva de calibración para la determinación de taninos condensados.

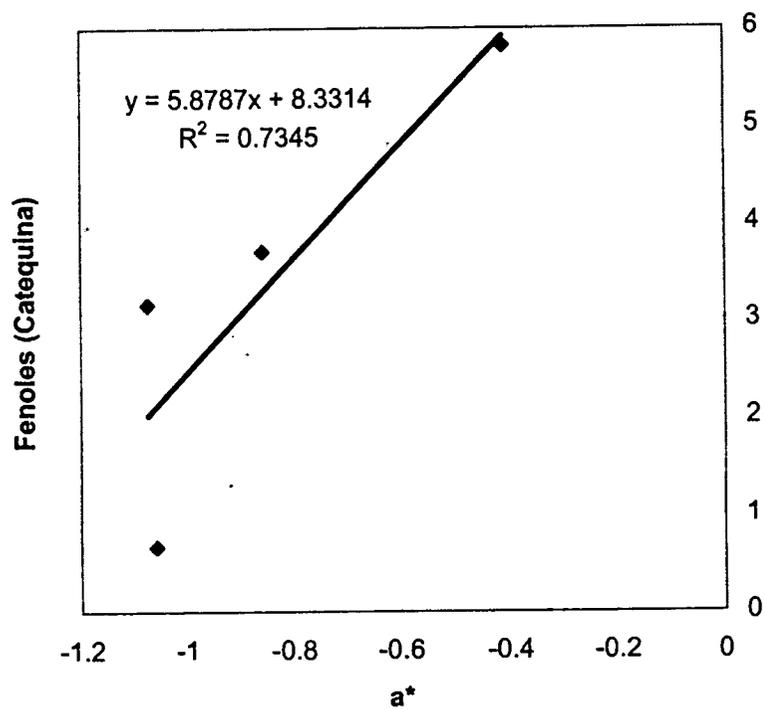


Figura B1. Correlación del parámetro de color a^* y el contenido de fenoles en tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada a 2°C.

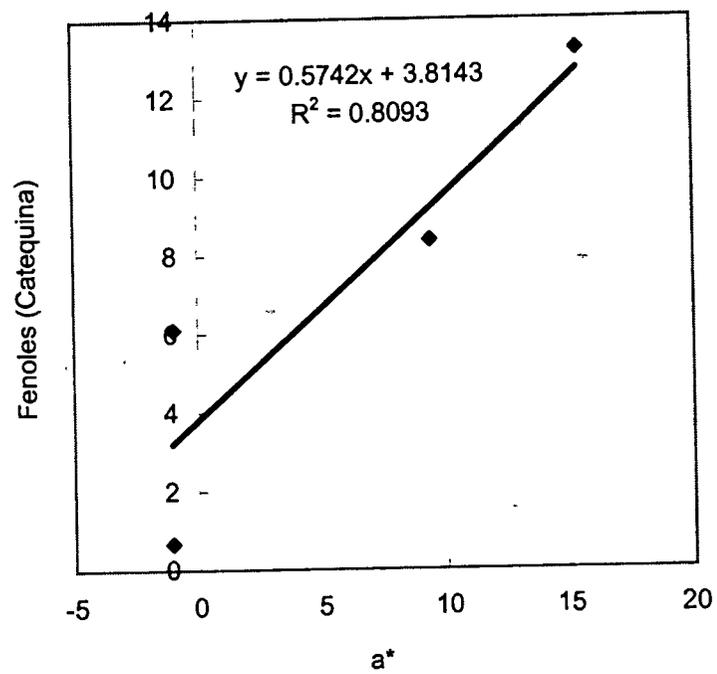


Figura B2. Correlación del parámetro de color a^* y el contenido de fenoles en tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada a 6°C.

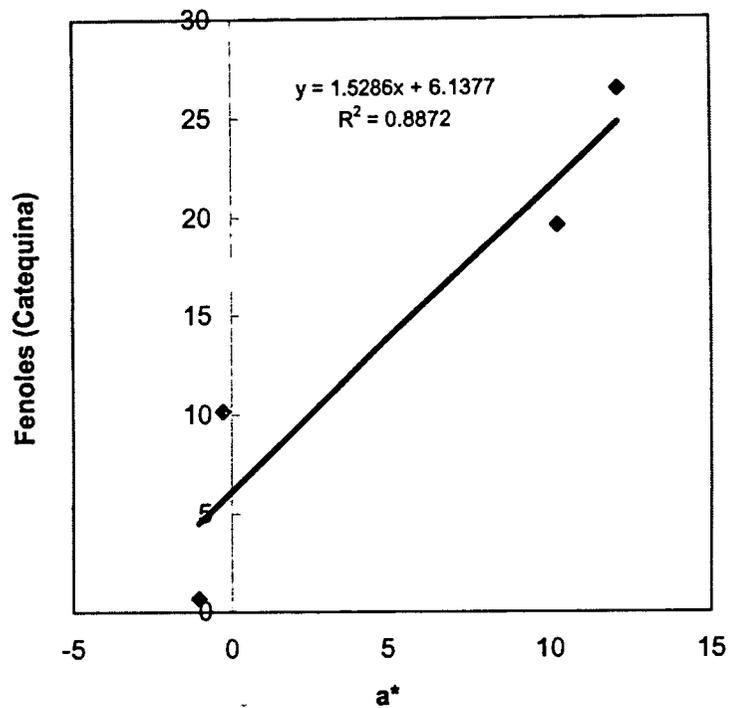


Figura B3. Correlación del parámetro de color a^* y el contenido de fenoles en tuna 'Cristalina' mínimamente procesada almacenada a 10°C.