

Universidad Autónoma Chapingo

**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
POSGRADO EN HORTICULTURA**

**“FRIGOCONSERVACIÓN Y ATMÓSFERAS MODIFICADAS EN
FRUTOS DE AGUACATE MÍNIMAMENTE PROCESADO”**

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el Grado de:

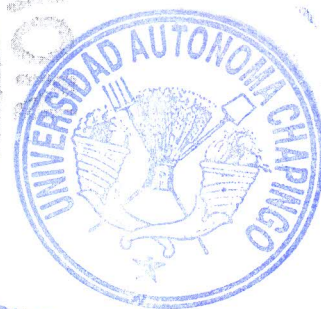
MAESTRO EN CIENCIAS

EN

HORTICULTURA

PRESENTA:

FITOTECNIA



DIRECCION ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

JOSÉ ALBERTO ZARAZÚA ESCOBAR

Chapingo, México, Noviembre del 2002.

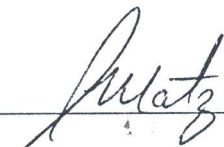


**FRIGOCONSERVACIÓN Y ATMÓSFERAS MODIFICADAS EN FRUTOS DE
AGUACATE MÍNIMAMENTE PROCESADO**

Tesis realizada por **José Alberto Zarazúa Escobar** bajo la dirección del Comité
Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para
obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:


Dra. María Teresa Martínez Damián.

ASESOR:


Dra. María Teresa B. Colinas León.

ASESOR:


Dr. Alejandro Facundo Barrientos Priego.

AGRADECIMIENTOS

- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**) por el apoyo económico brindado para la realización de mis estudios de maestría.
- A mi *Alma mater* la Universidad Autónoma Chapingo (U.A.Ch.) y a sus profesores, concretamente al Departamento de Fitotecnia e Ingeniería Agroindustrial (D.I.A.) por permitirme formarme, académicamente.
- A la Dra. Ma. Teresa Martínez por el tiempo dedicado y por su acertada dirección para la culminación del presente estudio.
- A la Dra. María Teresa B. Colinas León por su gran disposición, confianza y apoyo, pero sobre todo por sus valiosas aportaciones en la revisión de la investigación.
- Al Dr. Alejandro Facundo Barrientos Priego por su participación, disposición y sugerencias vertidas para mejorar este trabajo.
- Al Dr. José Refugio Espinoza Espinoza por su participación y valiosas aportaciones en la revisión de este trabajo.
- Al Ing. Juan José Aguilar Melchor, jefe de campo de la fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX S.C.
- A: Ángela Barrera Cortéz, Gloria García Islas, José Luis Escárcega Trujano y Alejandra Varela Rojo por su apoyo y tiempo dedicado, pero sobre todo por esa calidad humana.
- A todas aquellas personas que de alguna u otra manera contribuyeron en la realización del presente trabajo.

DEDICATORIAS

- DIOS Y SU INFINITA BONDAD.
- Especialmente dedicada a mi mámi: **Angelina Escobar Reyes**, que con una palabra, una mirada y un abrazo es capaz de brindar consuelo, apoyo y fuerza para continuar ... Gracias !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
- A mis queridas hermanas, Dalia y Violeta del Carmen por confiar y motivarme a alcanzar lo que parecía inalcanzable, pero sobre todo por acercar la lejanía.
- A quienes hoy, no se encuentran con nosotros, pero ... que quizás sin saberlo forjaron un sueño que día a día se vuelve una realidad.

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor de la presente tesis, Ingeniero JOSÉ ALBERTO ZARAZÚA ESCOBAR, es originario de Chiapa de Corzo en el Estado de Chiapas, donde nació el 7 de febrero de 1978.

Realizó estudios de Educación Media Superior y Educación Superior en la Universidad Autónoma Chapingo, donde cursó la carrera de Ingeniero Agroindustrial de la egresó en el año 2000.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	ix
SUMMARY.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
1. Aguacate (<i>Persea americana</i> Mill.) cv. Hass.....	4
1.1. Importancia.....	4
1.2. Composición química y valor nutritivo.....	5
1.3. Índices de madurez, calidad y cosecha.....	6
1.4. Cosecha y operaciones en la empacadora.....	7
1.5. Fisiología y bioquímica del fruto.....	10
1.5.1. Enzimas presentes en el fruto del aguacate	11
1.5.2. Enfermedades postcosecha y su control	12

1.5.3. Fisiopatías	13
2. Frutas y hortalizas mínimamente procesadas	16
2.1. Definición de las frutas y hortalizas mínimamente procesadas...	18
2.2. Operaciones de los productos hortícolas mínimamente procesados (PHMP)	20
2.3. Importancia de los conservadores como auxiliares en el manejo de los PHMP.....	22
2.3.1. Ácidos orgánicos y compuestos afines.....	22
2.3.2. Conservadores indirectos	23
2.3.3. Antioxidantes.....	24
3. Frigoconservación en los PHMP.....	25
4. Atmosferas modificadas y controladas.....	28
4.1. Envases para crear una atmósfera modificada (AM).....	30
4.2. Permeancia de las películas plásticas	31
4.3. Humedad relativa en la conservación de frutos	32
5. Cambios biológicos, bioquímicos y sensoriales en productos hortícolas mínimamente procesados	34
5.1. Maduración	35
5.2. Acumulación de etileno	35
5.3. Respiración	35
5.4. Daños por frío	36
5.5. Sabor	36
5.6. Mal olor	37

5.7. Decoloración	37
5.8. Pérdida de firmeza	38
5.9. Pérdida de peso	38
5.10. Obscurecimiento enzimático	39
6. Evaluación sensorial de los alimentos	39
6.1. Importancia y definición	39
6.2. Clasificación de los métodos de evaluación sensorial	41
6.3. Análisis cuantitativo descriptivo (QDA)	43
6.3.1. Tipos de jueces	45
6.4. Características de los atributos sensoriales	45
6.4.1. Apariencia	46
6.4.2. Olor	46
6.4.3. Aroma	46
6.4.4. Gusto	47
6.4.5. Sabor	48
6.4.6. Textura	48
III. MATERIALES Y MÉTODOS	50
1. Experimento previo	50
Fase I. Inhibidores del obscurecimiento	50
Fase II. Concentración óptima de antioxidantes y temperatura de almacenamiento	52

Fase III. Selección de envase para atmósfera modificada	53
2. Material vegetal	54
3. Variables evaluadas	56
3.1. Pérdida fisiológica de peso	56
3.2. Color	56
3.3. Firmeza	57
3.4. Daños por frío	57
3.5. Potencial de obscurecimiento y compuestos fenólicos	58
3.6. Polifenoloxidasa (E.C.1.10.3.1)	58
3.7. Fenoles totales	59
3.8. Evaluación sensorial	60
4. Diseño experimental	60
4.1. Diseño experimental para las variables sensoriales	61
5. Características de las películas plásticas empleadas	61
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
1. Experimento previo	63
1.1. Fase I. Inhibidores del obscurecimiento	63
1.2. Concentración óptima de antioxidantes y temperatura de almacenamiento	66
1.3. Selección de envase para atmósfera modificada	67
2. Pérdida fisiológica de peso	68

3. Color	70
4. Firmeza	75
5. Daños por frío	78
6. Potencial de obscurecimiento y compuestos fenólicos	81
7. Polifenoloxidasa (E.C.1.10.3.1)	83
8. Fenoles totales	85
9. Evaluación sensorial	86
 V. CONCLUSIONES	 91
 VI. LITERATURA CITADA	 92
 VII. APÉNDICE	 109

ÍNDICE DE CUADROS

1. Composición nutricional de 100 g de pulpa de aguacate cv. Hass	05
2. Determinación cuantitativa de ácidos grasos en 100 g de pulpa de aguacate cv. Hass	06
3. Respiración de frutos de aguacate cv. Hass a diversas temperaturas	10
4. Principales operaciones unitarias de los productos hortícolas mínimamente procesados (PHMP)	21
5. Principales compuestos químicos con actividad antimicrobiana indirecta utilizados en los alimentos	23
6. Clasificación de los métodos de evaluación sensorial	42
7. Efectividad del tratamiento térmico sobre la inhibición del obscurecimiento	63
8. Efectividad del tratamiento químico sobre la inhibición del obscurecimiento	65
9. Concentración óptima de antioxidantes	67
10. Atmósferas modificadas para aguacate mínimamente procesado	67

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Diagrama de identificación de los gustos básicos en el área de la lengua	47
2. Curva tipo para determinar fenoles totales	59
3. Pérdida fisiológica de peso en aguacate mínimamente procesado almacenado a diferentes temperaturas y películas plásticas	69
4. Cambios en el ángulo Hue en aguacate mínimamente procesado almacenado a diferentes temperaturas y películas plásticas	71
5. Representación del ángulo Hue	72
6. Cambios en el índice de saturación en aguacate mínimamente procesado almacenado a diferentes temperaturas y películas plásticas	73
7. Cambios en la luminosidad en aguacate mínimamente procesado almacenado a diferentes temperaturas y películas plásticas	74
8. Diagrama de brillo "L" <i>versus</i> cromaticidad	75
9. Cambios en la firmeza en aguacate mínimamente procesado almacenado con diferentes temperaturas y películas plásticas	77
10. Incidencia de daños por frío (340 nm) en aguacate mínimamente procesado almacenado con diferentes películas a 5 °C	79
11. Potencial de obscurecimiento y compuestos fenólicos en aguacate mínimamente procesado almacenado a diferentes temperaturas y películas plásticas	81

12. Actividad de la polifenoloxidasas (E.C.1.10.3.1) en aguacate mínimamente procesado almacenado a diferentes temperaturas y películas plásticas	84
13. Fenoles totales en aguacate mínimamente procesado almacenado a diferentes temperaturas y películas plásticas	86
14. Atributos sensoriales de aguacate mínimamente procesado almacenado con diferentes películas plásticas a 20 °C	89
15. Atributos sensoriales de aguacate mínimamente procesado almacenado con diferentes películas plásticas a 5 °C	90

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de dos atmósferas modificadas, una generada por polietileno de baja densidad lineal (PLDL) y el uso de vacum 300, a dos temperaturas de almacenamiento 5 y 20 °C así como el uso de antioxidantes (β -tocoferol, ácido L-ascórbico y butilhidroxi-tolueno) en la prolongación de la vida de anaquel de aguacate mínimamente procesado. Para lo cual se evaluó la: pérdida fisiológica de peso, color, firmeza, daños por frío, potencial de obscurecimiento, compuestos fenólicos, actividad de la polifenoloxidasas, incidencia y severidad de enfermedades, y evaluación sensorial. Dentro de los resultados podemos indicar como mejor tratamiento al de la película para vacío, Vacum 300 con antioxidantes (β -tocoferol, ácido L-ascórbico y butilhidroxi-tolueno) almacenado a 5°C, el cual tuvo la capacidad de mantener un aroma y apariencia aceptables en las rebanadas de aguacate. También redujo de forma considerable la pérdida fisiológica de peso, aminoró los desórdenes causados por el frío y conservó a nuestro producto en perfectas condiciones (libre de hongos) a lo largo de 13 días.

Palabras clave: *Persea americana* Mill., antioxidantes, procesamiento mínimo, películas plásticas.

SUMMARY

This study had the aim to evaluate segments of fresh-cut avocado in two modified atmospheres generated by the plastic films: polyethylene low lineal density (PLDL) and vacuum 300, under low temperature 5°C and at 20°C, as well as the effect of antioxidants (β -tocopherol, L-ascorbic acid and butylhydroxytoluene) on the shelf life of the fresh-cut product. The variables evaluated were: weight loss, color, chilling injury, enzymatic browning, phenolic compounds, enzymatic activity of polyphenoloxidase, presence and severity of diseases and a sensory evaluation. It was found that the best evaluated treatment was the vacuum film with preservatives (β -tocopherol, L-ascorbic acid and butylhydroxytoluene) stored at 5°C, which had the capacity to maintain an acceptable flavor and a shelf life of 13 days.

Key words: *Persea americana* Mill., antioxidants, minimally processed, plastic-film.

I. INTRODUCCIÓN

México es reconocido como el primer país productor de aguacate a nivel mundial, la producción nacional se estima en poco más de 797,000 toneladas, y un consumo de 9.2 kg per cápita, al año (De Grammont *et al.*, 1999). Por lo que el excedente de producción demanda el desarrollo de nuevas presentaciones en la venta del fruto, al tiempo que se genera un valor agregado.

Una alternativa factible, lo constituye el sistema de manejo postcosecha de productos mínimamente procesados "fresh-cut". Este tipo de productos (frutas y hortalizas) se están desarrollando de forma rápida e importante. Gran parte del trabajo en este sentido se está llevando a cabo actualmente en Europa Occidental, Japón y los Estados Unidos de Norteamérica, como respuesta a una fuerte demanda por parte del consumidor, tanto individual como institucional, de alimentos de conveniencia pero de alta calidad semejantes a los frescos (Wiley, 1997).

De acuerdo con la International Fresh-cut Produce Association (IFPA) y la Produce Marketing Association (PMA), los mínimos procesados (PMP) son aquel segmento de productos (frutas y hortalizas) que involucran una o varias operaciones unitarias; tales como lavado, cortado o troceado, pre-empacado y mantenimiento en refrigeración para ofrecer al consumidor un producto lo más parecido al fresco en forma conveniente, con la máxima calidad nutritiva y sensorial (IFPA y PMA, 1999).

Entre los beneficios potenciales que los PMP ofrecen a los consumidores, se pueden mencionar la reducción del tiempo de preparación de comidas, con una calidad más uniforme, mayor acceso a productos más saludables, menor requerimiento de espacio de almacenamiento y la reducción de desperdicios, con menor necesidad de manipulación. Algunos de los cuidados que se deben tener en la producción, distribución y venta de los PMP, son principalmente la

necesidad de un estricto control de la temperatura y los requerimientos de un adecuado manejo sanitario, especialmente en las etapas de procesamiento y envasado, ya que éstas repercutirán de manera importante en la vida de anaquel y en la garantía de inocuidad del producto terminado (IFPA y PMA, 1999).

Debe tenerse presente que la perecibilidad de un producto cortado es mayor que la del mismo producto entero, ya que se incrementan los procesos metabólicos que causan deterioro. Por ejemplo, el daño físico de cortar o trozar el producto incrementa su respiración y la producción de etileno (C_2H_4) en lapso de minutos, así mismo se generan reacciones bioquímicas responsables de cambios en color (incluyendo oscurecimiento), sabor, textura y calidad nutricional (como pérdida de vitaminas). El impacto generado a causa del manejo del producto se puede reducir mediante el uso de bajas temperaturas antes del procesamiento y un estricto control de la temperatura después del mismo (Cantwell, 1996), aunado a esto, el empleo de atmósferas modificadas ayuda a prolongar la vida de anaquel (Greengrass, 1995) sobre todo por la gran cantidad de películas plásticas que se pueden utilizar, las cuales generan diferentes atmósferas internas en el producto.

Por lo anterior en el presente trabajo se estudiaron los procesos fisiológicos y biofísicos que caracterizan el proceso de maduración-senescencia en aguacate 'Hass' mínimamente procesado.

Objetivos:

Estudiar el efecto de dos atmósferas modificadas mediante el uso de polietileno de baja densidad lineal (PLDL) y de vacum 300.

Evaluar el efecto de diferentes temperaturas de almacenamiento (5 y 20°C).

Determinar el beneficio de algunos antioxidantes en la prolongación de la vida de anaquel.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. Aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass

1.1. Importancia

El nombre de aguacate, deriva de la palabra nativa “aoacatl” o “ahuacatl”, que significa fruto en forma de testículo. Recibe otros nombres, como palta en Sudamérica, avocado en la lengua inglesa, evocatier en francés y abacate en portugués (Ayala-Aceves, 1998). Existen fuertes evidencias históricas y taxonómicas, que apoyan la hipótesis de que nuestro país es el centro de origen del aguacate, el cual, a través de sus tres razas (Mexicano, Guatemalteco y Antillano) se encuentra presente cuando menos en un 80 % de las entidades federativas (Díaz, 1989). El principal uso del aguacate es su consumo en fresco, que por el bajo contenido en azúcares que posee, menos del 2 %, generalmente acompaña a la comida salada formando parte de aderezos, salsas o ensaladas. Es un fruto de sabor agradable y con un elevado contenido de elementos nutricionales (proteínas, vitaminas, carbohidratos y grasas) (Carballo *et al.*, 1983).

En México a partir de 1978 en adelante, se registró un creciente proceso de concentración regional de la producción con la participación decidida y abierta del CICTAMEX, junto con una tendencia al predominio de un solo cultivar, el aguacate ‘Hass’ (Sánchez-Colín, 1991), es un cultivar comercial obtenido de una selección a partir de la raza guatemalteca. El árbol de este cultivar es sensible al frío y la humedad ambiental, por lo que se aconseja su establecimiento en regiones libres de heladas y de vientos calurosos y secos (De Grammont *et al.*, 1999).

1.2. Composición química y valor nutritivo

La pulpa de aguacate posee una composición nutricional muy peculiar comparada con la de otros frutos; presenta un mayor contenido de proteínas y grasas y menor contenido de carbohidratos. Esta composición depende del cultivar, estado fisiológico y de la zona de producción (Cuadro 1) (Corrales-García, 1991).

Cuadro 1. Composición nutricional de 100 g de pulpa de aguacate cv. Hass

FUENTE:	VALOR CALÓRICO (Cal)	CARBOHIDRATOS (g)	PROTEÍNAS (g)	GRASAS (g)	AGUA (g)	FIBRA (g)
I.N.N. ^Z	72.0	2.9	1.2	6.1	86	0.7
I.N.C.A.P. ^Y	154	4.4	1.7	15.8	77	1.8
HANDBOOK ^X	167	6.3	2.1	16.4	74	1.6
Anónimo ^W	159	7.6	1.7	15.3	74	1.4
FRANCO ^V	162	6.4	1.8	16.0	-	1.4
P.N. ^U	177	6.9	2.0	17.3	73	2.1
SOUCI ^T	226	7.4	1.6	21.2	68	2.0
VALOR PROMEDIO	160	5.9	1.7	15.4	75	1.6

^ZInstituto Nacional de Nutrición (I.N.N.), 1991.

^YInstituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (I.N.C.A.P.), 1964.

^XU.S. Government Printing Office, 1985.

^WAnónimo, 1984.

^VFranco, 1991.

^UPennington *et al.*, 1991.

^TSouci *et al.*, 1991.

Dentro de los carbohidratos más importantes se tienen identificados ocho, mismos que no se encuentran con frecuencia en otros frutos, sus nombres son: Perseitol, D-mano heptulosa, D-talo heptulosa, D-glicero₂ D galacto-heptosa, D-glicero D mano-octulosa, D-glicero L galacto-octulasa, D-eritro L glucomonulosa y la D-eritro L galactononulasa; además de diversos alcoholes (Corrales-García, 1991).

Con respecto al contenido de proteínas, los principales aminoácidos encontrados son la asparagina, ácido aspártico, glutamina, ácido glutámico, serina, treonina, alanina, valina y cisteína (Hulme, 1971).

La característica más sobresaliente es su alto contenido en grasas, siendo la porción comestible rica en los ácidos grasos: oleico, palmítico, linoleico y palmitoleico; mientras que el esteárico está presente en pequeñas cantidades. Por otra parte, la relación de ácidos grasos insaturados es alta, lo cual desde un punto de vista nutricional es muy aceptable (Cuadro 2) (Corrales-García, 1991).

Cuadro 2. Determinación cuantitativa de ácidos grasos en 100 g de pulpa de aguacate cv. Hass

FUENTE:	SATURADOS (g)	MONO-INSATURADOS (g)	POLI-INSATURADOS (g)
U.S.D.A. ^z	2.0	9	2
MAZLIAK ^y	1.7	10.7	1.3
MONTES ^x	---	---	---
HANDBOOK ^w	3	7	2
VALOR PROMEDIO	2.2	8.9	1.7

^zMorris, 1995.

^yMasliak, 1965.

^xLópez M., 1969.

^wU.S. Government Printing Office, 1985.

1.3. Índices de madurez, calidad y cosecha

Los índices de madurez han sido determinados para una gran variedad de frutas, hortalizas y flores. La cosecha del producto en el estado de madurez apropiado permitirá a los gestores iniciar su trabajo con un producto de la mejor calidad. Los productos cosechados en un estadio de madurez temprano pueden carecer del sabor apropiado y es posible que no madure adecuadamente. De forma similar los productos cosechados tardíamente pueden ser demasiado fibrosos o estar sobremaduros además de proporcionar al fruto un sabor desagradable o rancidez (Kader, 1999). Para el caso del aguacate este índice se basa principalmente en el contenido de aceites (Kader, 1983) y más

recientemente en el porcentaje de materia seca, el cual tiene un alto grado de correlación con el contenido de aceite y se emplea como índice de madurez en California, E.U.A. y en la mayoría de las áreas productoras de aguacate; el mínimo requerido de materia seca varía de 19 a 25 %, dependiendo del cultivar (19 % para 'Fuerte', 20.8 % para 'Hass' y 24.2 para 'Gwen'), manejándose para efectos prácticos un promedio de 21.0 % de materia seca (Eaks, 1990).

En México, el principal índice de cosecha empleado es el tamaño (el cual varía con la preferencia del consumidor); forma (dependiendo del cultivar); color de la cáscara; ausencia de defectos tales como malformaciones, quemaduras de sol, heridas y manchado (raspaduras, daños por insectos, por uñas y cicatrices causadas por el viento, rancidez y pardeamiento de la pulpa; y ausencia de enfermedades, incluyendo antracnosis y pudrición de la cicatriz del pedúnculo) (Yahia y Báez-Sañudo, 1992).

1.4. Cosecha y operaciones en la empacadora

La cosecha representa una de las etapas más importantes, para mantener la buena calidad del fruto con lo cual se prolonga su vida de anaquel.

Según la época de cosecha, los frutos de aguacate 'Hass' provenientes del estado de Michoacán exhiben diferencias en la evolución del comportamiento fisiológico. El fruto proveniente de la cosecha del mes de enero presenta las mejores características organolépticas y mayor vida de anaquel al madurar después de su conservación a 2 °C y un 80-85 % de humedad relativa (Cajuste *et al.*, 1993; Cajuste y Saucedo, 1993).

Generalmente la cosecha de los frutos de aguacate se realiza en forma manual, con ganchos que portan navaja y bolsa; o con tijera en un extremo; otras veces con gancho de jalón (donde solamente se encuentra el gancho). Con una tijera se corta el pedicelo-pedúnculo a 1 cm. El fruto se deposita en la bolsa, o en su

defecto, cae al suelo; lo que ocasiona rozamientos y golpes. El empleo de gancho con bolsa, o sin esta, depende de la transacción comercial que se venga entre el productor y el empacador; lo cual determina la canalización hacia el mercado nacional o de exportación (Zamora, 1997).

Los frutos dentro de una bolsa o saco se llevan hasta las cajas de 20 kg de capacidad; ahí dichos sacos son abiertos por el extremo inferior, para vaciarse; siendo de 17 kg la carga por caja para fruto de exportación. Estas cajas se colocan en la sombra de los árboles para evitar daño por sol. El fruto es transportado del huerto a la empacadora en camiones. Un lote de fruto de exportación esta conformado por un total de 400 cajas de plástico, con aproximadamente 17 kg de peso dando un total de 6 a 7 t (Zamora, 1997).

Aunque desafortunadamente la mecanización en la cosecha del aguacate no es muy común, existe y es algo similar a los siguientes pasos.

- Preselección del fruto en el árbol.
- Corte del aguacate en forma individual, con maquinaria especial de cosecha, evitando que se golpee y que tenga contacto con el suelo
- Lavado y lustrado natural.
- Selección, con personal altamente capacitado y equipo electrónico computarizado, con el fin de determinar el calibre exacto de cada aguacate, determinado por peso y tamaño.
- Se envasan por calibres, en envases específicos de acuerdo al país de destino.
- Se enfría previo al embarque a una temperatura de 5 °C por un período de 24 horas.
- Se realizan revisiones constantes de temperatura para conservar el aguacate en magníficas condiciones.
- Se embarca en contenedores de 4,896 envases, en líneas transportadoras confiables (Fintrac Inc. y USDA, 2002).

En la empacadora, después de cosechar la fruta debe de someterse a un preenfriamiento (4.5-5.5 °C de 8-12 h y una HR de 90-95 %) para eliminar el "calor de campo", retrasar el proceso de maduración y acondicionar la fruta para el proceso de conservación a bajas temperaturas. Posteriormente el procesamiento del fruto para su empaque, conservación y transporte comprende un lavado con agua y una solución fungicida como thiabendazol o tecto, para prevenir el desarrollo de enfermedades. El paso siguiente es un secado y una ligera cepillada, con lo que adquiere una apariencia brillante. Enseguida la fruta se somete a una primera selección, donde se separan los frutos de acuerdo a los criterios de la empacadora, lo que posteriormente nos conlleva a un clasificado de la fruta por medio de diámetros o pesos (calibres). Otra selección se lleva a cabo ahora por la apariencia del fruto. Las cajas individuales pasan al proceso de estibado (paletizado), llamado así por que se estiban y se amarran con cinchos, bases y esquineros de madera o fibra de vidrio, en conjuntos conocidos internacionalmente como "pallets" y que se consideran la unidad de embalaje para el transporte. Posteriormente los pallets se pasan enseguida a recintos refrigerados donde se lleva acabo un preenfriado y luego se pasan a una cámara de conservación (5.5-6.5 °C) donde permanecerán hasta que sean cargados al medio de transporte (Sánchez-Pérez, 1998).

Las temperaturas óptimas para mantener la calidad postcosecha de aguacates durante el almacenamiento, son para una madurez fisiológica o de cosecha (aguacates verde-maduros) y dependiendo del cultivar, de 5-13 °C (41-55 °F), mientras que para aguacates con madurez de consumo se indica de 2-4 °C (36-40 °F) con una humedad relativa óptima de entre 90-95 % (Kader *et al.*, 2000).

1.5. Fisiología y bioquímica del fruto

El aguacate es una fruta climatérica que no madura mientras está en el árbol, sino hasta que se desprende; ya que existe un inhibidor natural de la maduración que puede continuar sus efectos después de las subsecuentes 24 horas de haberse cosechado (Kader y Arpaia, 1992). Su respiración disminuye por un periodo de 4-12 días después de desprendido, dependiendo de su madurez fisiológica, y luego incrementa al máximo (pico climatérico) que es el momento en el que la fruta está madura (suave, lista para consumo) (Eaks, 1990).

Cuadro 3. Respiración de frutos de aguacate cv. Hass a diferentes temperaturas (Kader *et al.*, 2000)

Temperatura	Respiración ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)
5 °C (41 °F)	10-25
10 °C (50 °F)	25-80
20 °C (68 °F)	40-150

Cajuste *et al.* (1993), señalaron haber encontrado diferencias en los máximos picos climatéricos en función de la época de corte.

Durante la maduración se tienen cambios físicos y químicos que contribuyen para que el fruto logre características de textura, color, sabor y aroma típicos de un fruto para ser consumido (Corrales-García, 1995). Salunkhe *et al.* (1984) sugirieron que la maduración ocurre durante la elevación de la respiración, entre el mínimo preclimatérico y el climatérico; de ahí que, el ablandamiento es generalmente discernible a los dos días de la elevación climatérica y la madurez comestible, de uno a tres días después del evento, debido según Kader *et al.* (2000) a que la tasa de producción de etileno, se ve aumentada después de la cosecha y más aún con la maduración a más de $100 \mu\text{l} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ a 20 °C (68 °F). El tratamiento con $100 \text{ mg} \cdot \text{litro}^{-1}$ de etileno a 20 °C por 48 horas (frutas de estación temprana), 24 horas (frutas de estación media) ó 12 horas (frutas de

estación tardía) induce la maduración de consumo en 3-6 días, dependiendo del cultivar y del estado de madurez fisiológica. La maduración en 'Hass' está asociada en cambios externos con el color de la cáscara, de verde a negro (Kader *et al.*, 2000).

1.5.1. Enzimas presentes en el fruto del aguacate

Los cambios bioquímicos y reacciones enzimáticas proporcionan al fruto las características comestibles. Estudios realizados con enzimas que participan dentro del proceso de maduración (cambio en firmeza) señalan como una de las principales para aguacate a la poligalacturonasa (Bower y Cutting, 1988); también, se ha encontrado una amplia correlación entre los procesos de respiración y producción de etileno. Aunada a la actividad de la poligalacturonasa, la celulasa contribuye en gran medida en las fases finales del proceso en el ablandamiento (Biale y Young, 1971).

En la fase preclimática, la actividad de la pectinmetilesterasa cae rápidamente. Bower y Cutting (1988), han señalado la existencia de un posible factor que provoca la unión de la enzima a la pared celular; al mismo tiempo que se prepara el sustrato de la pared celular para ser hidrolizada en presencia de poligalacturonasa. Todos estos cambios se presentan en fase posterior a la elevación climática; siendo la razón por la cual se observa una concentración baja antes del establecimiento del pico climático y producción de etileno (Awad y Young, 1979).

Referente al contenido de ACC (ácido 1 aminociclopropano-1-carboxílico), éste se incrementa en los tejidos antes de la fase pre-climática, de 0.1 a 45 $\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}$ en la fase de elevación del climaterio; después se aprecia una caída (5 $\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}$); para volver a elevar en el estado de post-climático (sobremaduro) a valores de más de 100 $\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}$. La primera elevación tiene una correspondencia con el aumento en producción de etileno, así en la fase de

sobremaduración, en la cual no se tiene generación de etileno debido a que el sistema EFE (enzimas formadoras de etileno) es afectado (Hoffman y Yang, 1980).

La PFO (polifenoloxidasa), es la enzima asociada con el oscurecimiento de tejidos. Para aguacate se localiza en la membrana de los tilacoides en los cloroplastos y el oscurecimiento sucede al provocar un daño celular, permitiendo el contacto de la enzima con el sustrato (Bower y Cutting, 1988).

1.5.2. Enfermedades postcosecha y su control

El control de las enfermedades postcosecha e insectos perforadores del fruto se inicia en la huerta, con la aplicación de medidas preventivas. Si la cáscara es agujerada o se raja como resultado del desecamiento por el sol, entonces los jugos pueden exudar, proveyendo condiciones favorables para el crecimiento de mohos (Snowdon, 1990).

Los hongos asociados con daños postcosecha en aguacate son: *Alternaria* spp., *Aspergillus* spp., *Cladosporium* spp., *Colletotrichum* spp., *Fusarium* spp., *Geotricum candidum*, *Monilinia* spp., *Mucor* spp., *Penicillium* spp., *Phoma* spp., *Phomopsis* spp., *Rhizopus* spp., *Stemphylium* spp., *Trichoderma* spp., *Botryodiplodia* spp., *Dothiorella* spp. y varias levaduras (Kader et al., 2000).

La antracnosis "anthracnose" es causada por *Colletotrichum gloeosporioides* y aparece cuando la fruta comienza a suavizarse, como manchas negras circulares, que se cubren de masas de esporas rosáceas en estadios más avanzados. La pudrición puede penetrar la pulpa e inducir pardeamiento y rancidez (Kader et al., 2000).

La pudrición del extremo del pedúnculo "stem-end rot" es causada por *Botryodiplodia theobromae* y aparece cuando el pardeamiento oscuro o una coloración negra que se inicia en el pedúnculo y avanza hasta la punta floral,

finalmente cubre la fruta completa. *Dothiorella gregaria* es otra causa de pudrición del extremo del pedúnculo en aguacates con madurez de consumo (Kader *et al.*, 2000).

Los métodos de control incluyen buena sanidad de la huerta, aplicación efectiva de fungicidas postcosecha, manejo cuidadoso para minimizar los daños físicos, enfriamiento inmediato a la temperatura óptima recomendada para el cultivar y la conservación de esta temperatura durante el mercadeo (Kader *et al.*, 2000).

En cuanto al control de insectos, un tratamiento a baja temperatura (1 °C por 14 días) puede ser tolerado sin daño por frío si los aguacates se acondicionan primero por 12-18 horas a 38 °C. Los aguacates no toleran los tratamientos por calor y/o atmósferas controladas que se requieren para el control de insectos (Kader *et al.*, 2000).

1.5.3. Fisiopatías

Daño por frío

Este problema se presenta a temperaturas por arriba del punto de congelamiento y por debajo de 15-20 °C (según el producto del que se trate). Muchos productos de origen tropical o subtropical como el aguacate, plátanos, toronjas, mangos y jitomates son susceptibles al daño por frío. Sin embargo, también hay varios productos de origen templado que pueden sufrir daño en el manejo postcosecha, aunque las temperaturas a las cuales se presenta el problema son más bajas que para los productos de lugares cálidos, y este es el caso de manzanas, duraznos y ciruelas (Colinas-León, 1992).

Los aguacates son más sensibles al frío durante el incremento y máximo climatérico y menos sensibles durante los periodos pre y postclimatéricos (Colinas-León, 1992).

Los principales síntomas externos en aguacates verde-maduros son picados de la cáscara, escaldado y ennegrecimiento cuando se les mantiene de 0-2 °C (32-36 °F) por más de 7 días antes de transferirlos a las temperaturas para la maduración de consumo. Los aguacates expuestos a 3-5 °C (37-41 °F) por más de dos semanas pueden presentar oscurecimiento interno de la pulpa (pulpa grisácea, pulpa manchada, pardeamiento de los haces vasculares), problemas para madurar y aumento de la susceptibilidad al ataque de microorganismos patógenos. El momento en que el daño por frío comienza a desarrollarse y la severidad con que se presenta dependen del cultivar, región productora y estado de desarrollo (madurez fisiológica-madurez de consumo) (Kader *et al.*, 2000).

La variedad y complejidad de los síntomas observados sugieren que el daño por frío es el resultado de alteraciones diversas y probablemente se deba a que la membrana celular al controlar varios aspectos funcionales de la célula, tiene una función importante para diferenciar entre especies tolerantes y susceptibles al daño por frío. Como resultado de alteraciones en la membrana, puede haber cambios físicos en el citoplasma, en la ciclosis, producción de etileno, en la producción y utilización de energía, así como en las actividades enzimáticas y en consecuencia, en el metabolismo de muchos compuestos, y en la acumulación anormal de varias sustancias (Colinas-León, 1992).

Rancidez oxidativa

El origen de tales reacciones se encuentra en la acción directa del oxígeno sobre las dobles ligaduras de los ácidos grasos insaturados, con la consecuente producción de hidroperóxidos. La rancidez por acción directa del oxígeno se

presenta comúnmente en lípidos con un alto contenido de ácidos grasos insaturados y es el deterioro más común de las grasas utilizadas en la industria (Corrales-García, 1991). Los compuestos que tienen olor, color y sabor semejantes, al igual que algunas vitaminas (A, D, E y K) también son propensas a la oxidación (Corrales-García, 1991).

La oxidación de lípidos insaturados puede generar una gran variedad de compuestos, que van desde sustancias polimerizadas hasta moléculas volátiles de bajo peso molecular, que producen olores y sabores desagradables en la pulpa o en el aceite. La intensidad y la forma de oxidación de los compuestos formados, dependen en gran medida de las condiciones de oxidación (temperatura, presencia de catalizadores, estado de dispersión de la grasa, radiaciones electromagnéticas, tipo de ácido graso, distribución y geometría de la doble ligadura, cantidad de oxígeno disponible y de la cantidad de agua). Los ácidos grasos oleico, linoleico y linolénico son los más afectados por estas reacciones, y su velocidad de oxidación aumenta de manera proporcional a su grado de insaturación. La oxidación de ácidos grasos poli-insaturados es el tipo de reacción en cadena. En teoría, bastaría con una sola molécula que inicie la reacción de oxidación para deteriorar toda la grasa (Corrales-García, 1991).

Oscurecimiento enzimático

El principal oscurecimiento de la pulpa es un fenómeno de oxidación bioquímica o deshidrogenación, que se caracteriza por la transferencia de electrones de un sustrato a un aceptor adecuado, catalizada por enzimas específicas (fenolasas) que se encuentran presentes en la misma pulpa.

Los principales sustratos en la oxidación bioquímica de la pulpa del aguacate son los compuestos fenólicos, principalmente de tipo flavonoide con un patrón dihidroxilado similar al catecol, tales como pirogalol, dihidroxifenil-alanina, taninos y ácido clorogénico entre otros (Corrales-García, 1991).

Las fenolasas catalizan dos reacciones diferentes que pueden ser secuenciales (Corrales-García, 1991):

- a). La hidroxilación de monohidroxifenoles, produciendo o-dihidroxifenoles.
- b). La oxidación de o-dihidroxifenoles, produciendo o-quinonas.

Durante la oxidación de los derivados de o-dihidroxifenoles a quinonas y la simultánea reducción del oxígeno a agua, las fenolasas actúan como oxidasas, siendo esta última actividad más específica que la primera (Corrales-García, 1991).

Aunque las o-quinonas formadas a partir de sustratos fenólicos son de un color rojizo, la reacción raramente se detiene ahí. La inestabilidad de la quinonas formadas se manifiesta en su alta reactividad, tomando parte en reacciones secundarias, dando productos más coloridos aún (Corrales-García, 1991).

Las reacciones secundarias más importantes por lo que se refiere a oscurecimiento son (Corrales-García, 1991):

- a). Oxidaciones de acoplamiento de los sustratos oxidados.
- b). Formación de complejos amínicos y proteínas.
- c). Condensación y polimeración.

2. Frutas y hortalizas mínimamente procesadas

Las frutas y hortalizas mínimamente procesadas constituyen, dentro de los alimentos, un segmento que se está desarrollando de forma rápida e importante. Estos alimentos de conveniencia se están produciendo con la única aplicación de las ciencias básicas y la ciencia de los alimentos junto con el apoyo de las tecnologías y de la ingeniería. Gran parte de este trabajo se está llevando a cabo actualmente en Europa Occidental, Japón y los Estados Unidos de Norteamérica, como respuesta a una fuerte demanda por parte del

consumidor, tanto individual como institucional, de alimentos de conveniencia pero de alta calidad semejantes a los frescos y con una vida de anaquel prolongada (Wiley, 1997).

Estos productos son de los más solicitados en establecimientos de comida rápida "foodservice" y supermercados durante los últimos 10 años. La industria estadounidense registró ganancias por más de \$10 billones de dólares en estas tiendas en 1999 en tanto que para el año 2000 la International Fresh-cut Produce Association (IFPA) estima que las ventas se incrementaron y que las ganancias oscilaron de \$10-12 billones de dólares; no existe ninguna tendencia negativa que ubique a este segmento, es mas se espera incrementarse fácilmente proyectándose un crecimiento de 3-5 % anual de este segmento (IFPA, 2000). La incursión de este tipo de productos en el mercado ha ocasionado que las ganancias en ventas de los productos convencionales se encuentran bajos mientras que los nuevos artículos (mínimamente procesados) están surgiendo para responder el deseo del consumidor en cuanto a conveniencia (IFPA, 2000).

En 1940, durante los inicios de los mínimamente procesados el empaque consistía de celofán y de papel estrasa, en los que se envolvían principalmente alimentos secos (Anderson, 2000). Los empaques que conocemos y utilizamos actualmente aparecieron a partir de los 80's ya que surgieron compañías especializadas en la elaboración de películas plásticas quienes se encargaron de desarrollar nuevos y mejores polímeros que comenzaron a emplearse ya que se introdujeron también por esos años las máquinas de empaque automático. Para el año 2000, la Flexible Packaging Association (FPA) estimó ventas anuales por \$90 millones de dólares en Estados Unidos por concepto de todo tipo de películas plásticas y empaques (FPA, 2000).

Actualmente, la industria de los mínimos procesados se encuentra con muchos avances y es común encontrar en el mercado productos como ensaladas a base de hortalizas diversas con una vida de anaquel de 12-14 días, en tanto que para las frutas este período se ubican de 8-10 días a temperaturas que van de 1-5 °C (IFPA y PMA, 1999).

2.1. Definición de las frutas y hortalizas mínimamente procesadas

De acuerdo con la International Fresh-cut Produce Association (IFPA) y la Produce Marketing Association (PMA), los productos hortofrutícolas mínimamente procesados (PHMP) son aquellas frutas y hortalizas, que involucran una o varias operaciones unitarias; tales como lavado, cortado o troceado, pre-empacado y son mantenidos en refrigeración para ofrecer al consumidor un producto lo más parecido al fresco en forma conveniente y con la máxima calidad nutritiva y sensorial, es decir que puede tratarse de hortalizas o frutas o ambas, mismas que han sido alteradas de su forma original pero que se mantienen en estado fresco gracias a la cadena de frío. Entre los beneficios potenciales que los PHMP ofrecen a los consumidores, se pueden mencionar la reducción del tiempo de preparación de comidas, con una calidad más uniforme, mayor acceso a productos más saludables, menor requerimiento de espacio de almacenamiento y la reducción de la generación de desperdicios, con menor necesidad de manipulación. Algunos de los cuidados que se deben tener en la producción, distribución y venta de los PMP, son principalmente la necesidad de un estricto control de la temperatura y los requerimientos de un adecuado manejo sanitario, especialmente en las etapas de procesamiento y envasado, ya que éstas repercutirán de manera importante en la vida de anaquel y en la garantía de inocuidad del producto terminado (IFPA y PMA, 1999).

Cabe mencionar que comúnmente los alimentos conservados por el frío (congelados) no se consideran como PHMP. Este tipo de productos no son similares a los congelados ya que estos deben transportarse y almacenarse a

temperaturas de -10°C o inferiores mientras que los PHMP requieren observar la cadena de frío a temperaturas de refrigeración o ligeramente más altas dependiendo del producto base o de la mezcla de productos de que se trate (Anónimo, 1989). La calidad global del alimento congelado es diferente del estado de frescura que presenta el alimento mínimamente procesado. En muchas ocasiones el consumidor puede discernir las diferencias de textura entre el producto congelado y el PHMP.

En 1986, la Food and Drug Administration de los Estados Unidos (USFDA), (Anónimo, 1992) aprobó la utilización de radiación, a dosis bajas en frutas y hortalizas frescas para una maduración lenta y controlar los insectos. Dentro de los PHMP, la irradiación se considera como una fase de la conservación que puede combinarse con otros métodos para la producción de frutas y hortalizas mínimamente procesadas.

Los PHMP difieren de los deshidratados, en función de la textura y de la actividad de agua (a_w). Las frutas y hortalizas mínimamente procesadas, que normalmente tienen una a_w de alrededor 0.97-0.99 son muy sensibles a la reducción de la a_w . Sin embargo, conservadores como el ácido ascórbico y el ácido cítrico utilizados en frutas y hortalizas deshidratadas se usan también en los PHMP (Wiley, 1997). Los alimentos deshidratados se consideran estables a temperatura ambiente y de esta forma no requieren la observancia de la cadena de frío en su distribución como lo exigen los PHMP.

Una diferencia importante entre los PHMP y los tratados térmicamente es que los mínimamente procesados no cumplen el concepto de “esterilidad comercial”. Los alimentos tratados térmicamente están libres de microorganismos capaces de reproducirse sin refrigeración y que no pueden reproducirse microorganismos viables (incluyendo esporas) que afecten la salud. Esta “esterilidad” puede conseguirse mediante el control de la actividad de agua, reduciendo el pH o por la aplicación de calor. Un alimento procesado térmicamente no puede considerarse como semejante al fresco (Wiley, 1997).

Otros términos usados para referirse a los PHMP son ligeramente procesados, parcialmente procesados, procesados en fresco y preparados (Dorantes, *et al.* 1998).

2.2. Operaciones de los productos hortícolas mínimamente procesados (PHMP)

La producción de estos tipos de productos involucran procesos tales como: seleccionado, lavado, descorazonado, desfibrado, rebanado, pelado, secado, empacado, etc. (Cantwell, 1992). Por ejemplo, Rolle y Chism (1987) sugirieron que el procesado mínimo incluya todas las operaciones (lavado, clasificación, pelado, cortado en rodajas, etc.) que puedan hacerse antes del blanqueado en una línea de procesado convencional, considerando a todos estos productos como tejidos vivos. A continuación se presentan las principales operaciones unitarias en el procesado PHMP (Cuadro 4).

Cuadro 4. Principales operaciones unitarias de los productos hortícolas mínimamente procesados (PHMP) (Yildiz, 1997)

A. Operaciones de manipulación de los productos	
1. Recolección	
2. Procesado en el campo	
3. Transporte	
4. Recepción	
B. Operaciones de preparación	
1. Operaciones de separación y contactación multifásica	
a. Operaciones de separación:	
Categorización	Limpieza
Selección	Descortezado
Tamizado	Descabezamiento
Inspección	Despuntado
Separación en salmuera	Descascarillado
Estresacado	Redondeado
Deshidratación	Eliminación del estigma
Escurrido	Recortado
Separación cluster	Eliminación de tallos
Centrifugación	Pelado
Eliminación de piedras	Agujereado
Despolvoreamiento	Eliminación de corazones
Flotación	Despellejado
b. Operaciones de mezcla	
Mezclado	Mezcla con sólidos
Emulsificación	Mezcla con líquidos
2. Operaciones de reducción del tamaño:	
Picado	Cortado en rodajas
Cortado	Cortado en cubitos
Cortar en tiras	Segmentación
Cortar en V	Troceado
Cortar en paralelo	Obtención de pulpa
Cortado ondulado	Obtención de purés
Cortar en mitades	Obtención de jugos
C. Operaciones de utilización y distribución	
1. Venta al por mayor: almacenamiento y control	
Volumen, masa, temperatura, tiempo, HR, medida del tamaño, control del almacenamiento CA/AM/aire/vacío (controles de O ₂ , CO ₂ , N ₂ , CO, C ₂ H ₄ , H ₂ O), almacenaje controlado-computarizado.	
Almacén de venta al por mayor	
Almacén de venta al por menor	
Etiquetado	
2. Distribución física o movimiento	
3. Venta al por menor y establecimiento de comidas	
4. Red de comunicaciones	

2.3. Importancia de los conservadores como auxiliares en manejo de los PHMP

Tanto los compuestos químicos naturales como los sintéticos se han utilizado en el control de la alteración y el mantenimiento de la calidad de hortalizas y frutas teniendo en común siempre un pH ácido. Principalmente existen dos tipos de productos químicos empleados en los diferentes productos; por ejemplo aquellos actuantes como agentes microbianos y los antioxidantes.

La acción conservadora de los agentes antimicrobianos depende del tipo, género, especie y cepa de microorganismo de que se trate. La eficacia de estos productos depende del pH y de la A_w . Los efectos que los antimicrobianos producen al combinarse son, el sinergismo, efecto aditivo y antagonismo, razón por la cual se debe tener claramente lo que se desea realizar y considerar las operaciones unitarias a realizar en el producto para obtener los máximos resultados en su acción.

La eficacia de aquellos conservadores que actúan como antioxidantes está controlada por las condiciones ambientales para el conservador en el sistema alimenticio, su concentración y durabilidad durante el almacenamiento o vida útil del producto sin olvidar cuales son aquellas enzimas que más afectan al producto y la etapa del mismo en la cual es más fácilmente controlable (Wiley, 1997).

2.3.1. Ácidos orgánicos y compuestos afines

Estos pueden encontrarse de forma natural en las frutas y hortalizas acumulados a consecuencia de la fermentación o adicionados durante el procesado. La adición de estos ácidos a alimentos poco ácidos se considera un procedimiento normal ya que se procede a ajustar el pH del producto debajo de 4.6 que generalmente se considera como el pH mínimo para el crecimiento y esporulación del *Clostridium botulinum*. Igualmente algunos ácidos orgánicos

actúan como funguicidas o fungistáticos, mientras que otros tienden a ser más eficaces en la inhibición del crecimiento bacteriano (Wiley, 1997).

Beauchat y Golden (1989) sugirieron que la efectividad antimicrobiana de los ácidos orgánicos puede estar relacionada con la reducción directa del pH del sustrato, con cierta disminución del pH en el interior de las células debido a la ionización de las moléculas ácidas disociadas o a la rotura del mecanismo de transporte en la membrana celular. La efectividad antimicrobiana (levaduras y bacterias) de los ácidos orgánicos parece que está en primer lugar relacionada con la constante de disociación (pK_a) del ácido.

2.3. 2. Conservadores indirectos

Dentro de esta categoría se ubican aquellos compuestos cuyo principal uso es el de saborizantes, antioxidantes, emulsificantes y secuestradores o estabilizadores pero que de manera indirecta inhiben el crecimiento a bacterias, hongos o virus. Tal es el caso del azúcar y la sal así como de algunos antibióticos (Jay, 1986b).

Cuadro 5. Principales compuestos químicos con actividad antimicrobiana indirecta utilizados en los alimentos (Jay, 1986b)

Compuesto	Uso principal	Organismos más susceptibles
Butil-hidroxitolueno (BHT)	Antioxidante	Bacterias, virus, hongos
Ácido etilendiamino-tetracético (EDTA)	Secuestrante/estabilizante	Bacterias
Fenilacetaldéhidó	Saborizante	Hongos, bacterias gram positivas
Especias/aceites esenciales	Saborizante	Bacterias, hongos

2.3.3. Antioxidantes

La Food and Drug Administration de los Estados Unidos (USFDA) en el 21 Code of Federal Regulators (CFR) 170.3(0)(3) (Anón, 1992) definió a los antioxidantes como las sustancias utilizadas para conservar los alimentos ya que retarda la alteración por enranciamiento o la decoloración debida a la oxidación, pérdidas o cambios del flavor y olor del producto, cambios en la textura y pérdidas del valor nutritivo (al destruirse vitaminas A, C, D o E y ácidos grasos esenciales como el ácido linoleico). Estos cambios son importantes en la mayoría de las frutas y hortalizas mínimamente procesadas, sin embargo en cosechas de semillas y frutos que contienen lípidos (como el aguacate), dichos cambios pueden originar serios problemas de desarrollo de olores y sabores rancios y productos tóxicos (Dziezak, 1986).

Existen cuatro tipos de estructuras químicas para estabilizar los alimentos (Dziezak, 1986).

1. Interceptores de radicales libres, tales como el BHT, BHA, etc., que son muy insolubles en agua y que se usan generalmente en alimentos que contienen aceite y lípidos. La vitamina E (tocoferol) se encuentra en este grupo y del mismo modo que el BHT se recomienda en una concentración de 200 a 500 mg·litro⁻¹.
2. Agentes reductores tales como el ácido ascórbico y el isómero ácido eritórbico así como compuestos afines que se utilizan masivamente para transferir iones hidrógenos.
3. Agentes quelantes como el ácido cítrico y el EDTA.
4. Antioxidantes secundarios, que incluyen al ácido dilaurilo, tiodipropionato y ácido tiodipropiónico.

Los compuestos más importantes utilizados para la estabilización de frutas y hortalizas son los agentes reductores y ciertos agentes quelantes, que no son

realmente oxidantes más sin embargo son capaces de prevenir las reacciones oxidativas en frutas y hortalizas (Dziezak, 1986).

El ácido L-ascórbico, mejor conocido como vitamina C, al igual que sus distintas sales neutras y otros derivados se emplean como antioxidantes a fin de evitar el pardeamiento y otras reacciones oxidativas (Bauernfeind y Pinkert, 1970). Sapers *et al.* (1989) han señalado recientemente el uso de diferentes derivados del ácido ascórbico, inhibidores de la polifenoloxidasas (PFO) y agentes secuestrantes como compuestos para el control del pardeamiento enzimático.

El modo de acción de la vitamina C, se basa en la eliminación de oxígeno del alimento oxidando a la forma de ácido deshidroascórbico. Generalmente este ácido se aplica con el ácido cítrico para mantener un pH ácido y el cuál también actúa como quelante de enzimas como la PFO que contiene cobre (Whitaker, 1972). El ácido ascórbico es un agente reductor moderadamente fuerte, de naturaleza ácida.

Niveles bajos como de $100 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de ácido ascórbico pueden inducir efectos prooxidantes, se sugiere utilizar una concentración de $2,000 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ para evitar estas reacciones (Cort, 1982).

3. Frigoconservación en los PHMP

Normalmente los productos hortícolas requieren de cierto almacenamiento con el fin de equilibrar su oferta y demanda. Algunas frutas y vegetales tienen una vida de anaquel muy prolongada a comparación de otros muy perecederos. La vida de almacenamiento potencial de un producto se encuentra predeterminada en gran medida por sus características genéticas. Además, muchos otros factores de precosecha, así como los tratamientos postcosecha, técnicas de cosecha y el manejo pueden influir en la capacidad de almacenamiento de un producto. Finalmente, las condiciones de almacenamiento determinarán la vida

de almacenamiento real del producto. Existen muchos métodos o sistemas de almacenamiento para los productos hortícolas, los cuales se determinan de entre un sin fin de criterios como son la composición misma del fruto, estado de madurez al momento del corte, temperatura, humedad y atmósfera óptima de almacenamiento. Estas pueden variar drásticamente de una especie a otra y aún entre cultivares. Si se mantienen las condiciones óptimas de almacenamiento para un producto se logra maximizar su vida útil (Liu, 1992).

Durante el periodo entre la cosecha y el consumo, el control de temperatura es el factor más importante para mantener la calidad de los productos. Cuando se separan de la planta madre, las frutas, hortalizas y flores son aún tejidos vivos que respiran. La conservación del producto a la temperatura más baja posible sin que se alcance el punto de congelación (0°C para cultivos templados o $10-12^{\circ}\text{C}$ para los tropicales o subtropicales sensibles a daño por frío) aumentará la vida de anaquel del mismo, ya que las temperaturas bajas disminuyen la tasa de respiración y la producción de etileno, el proceso de maduración, la senescencia y otros cambios conducentes al deterioro de la calidad. Se reduce también el gradiente de la presión de vapor entre el producto y la atmósfera de almacenamiento y se reduce la velocidad de pérdida de agua por transpiración. A bajas temperaturas también se reduce el crecimiento microbiano y, por tanto, el deterioro ocasionado por él (Liu, 1992), al tiempo en que se reduce la actividad enzimática (Wiley, 1997).

Es importante evitar el daño por frío, dado que los síntomas incluyen incapacidad para madurar (plátanos y tomates), desarrollo de "picado" o áreas deprimidas (naranjas, melones y pepinos), pardeamiento (aguacates, chirimoyas), aumento de la susceptibilidad a la pudrición (pepinos y chícharos) y desarrollo de sabores desagradables (tomates) (Shewfelt, 1990).

La mayoría de las reacciones metabólicas que provocan los patógenos vegetales en los tejidos de las frutas y hortalizas están catalizadas por enzimas.

La velocidad de las reacciones catalizadas por las enzimas está controlada en gran medida por la temperatura. Con cada aumento de 10 °C de temperatura (en el margen de mayor importancia biológica) hay un incremento de dos veces la velocidad de reacción, lo que se conoce como coeficiente de temperatura (Q_{10}). Por otro lado, la reducción de 10 °C de temperatura proporciona un descenso similar en la velocidad de reacción entre dicho margen biológico (Wiley, 1997). Esto significa que la refrigeración como obstáculo está suficientemente probado y es un factor de utilización continuado en la conservación de frutas y hortalizas refrigeradas mínimamente procesadas (Wiley, 1997).

Hace algún tiempo se consideraron a las temperaturas inferiores a unos 6 °C como seguras para las bacterias causantes de intoxicaciones alimentarias. Sin embargo, con el desarrollo de los alimentos mínimamente procesados refrigerados que muestran una prolongada vida de anaquel, se ha de prestar mucha atención a microorganismos que crecen por debajo de 6 °C tales como *Clostridium botulinum* tipo E. Otra intoxicación alimentaria producida por la *Listeria monocytogenes*, un anaerobio facultativo, también se ha relacionado con temperaturas bajas de 1 °C hasta 45 °C, con un máximo a 30-37 °C, y que se ha transformado en el mayor problema de seguridad de frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas (Jay, 1986a).

Para las frutas y hortalizas existe una gran variación en la temperatura óptima de refrigeración. Algunos investigadores como Jay (1986a) prefieren denominar a las temperaturas entre 10 y 15 °C como temperaturas de enfriamiento y entre 0-2 y 5-7 °C como temperaturas de refrigeración.

Tratamientos complementarios en combinación con la frigoconservación son benéficos para acentuar aún más las ventajas que proporcionan. Estos tratamientos complementarios a la refrigeración incluyen: empaçado en

atmósferas modificadas y controladas, irradiación, embalaje en películas, encerado y tratamientos químicos (Liu, 1992).

4. Atmósferas modificadas y controladas

La conservación de frutas en fresco mediante atmósferas controladas (AC) o modificadas (AM) es una tecnología relativamente nueva en México, su aplicación a escala comercial se limita exclusivamente a la conservación de manzana y su expansión no se ha dado como en otros países, lo cual se puede deber a diversos factores tales como; falta de información técnica en cuanto a los principios fisiológicos que intervienen y desconocimiento de las variables técnico - operativas que deben controlarse, entre otros (Corrales-García *et al.*, 1991).

Kader (1999), señaló que es necesario hacer investigación sobre la fisiología y bioquímica de los desórdenes fisiológicos causados por el uso de atmósferas controladas, desarrollo de procedimientos dinámicos de atmósferas controladas para uso durante el transporte y almacén de frutos. Entre los potenciales beneficios de las AC y AM para frutos tropicales, se incluyen retardo de maduración y senescencia, mitigación y / o control de daños por frío, control de algunos desórdenes patológicos e insectos (Yahia, 1998).

Los términos de atmósferas modificadas (AM) o atmósferas controladas (AC), se aplican para la conservación de perecederos con remoción o adición de gases, resultando en una composición atmosférica que circunda al producto diferente a la del aire, el que normalmente contiene 78.08 % N_2 , 20.95 % de O_2 y 0.03 % de CO_2 . Usualmente las AM / AC involucran una reducción de la concentración de O_2 y / o el aumento de la concentración de CO_2 . Las AM y las AC difieren solamente en el grado de control de las concentraciones; éste es más riguroso y exacto en las AC (Kader, 1985).

Exposiciones en AC inhiben la maduración, intervienen en la reducción de la producción de etileno, retardan los cambios en el color de la cáscara y el ablandamiento de la pulpa (Kader, 1980; Ke *et al.*, 1991). Las altas concentraciones de CO₂ o bajas de O₂ retrasan la iniciación de la maduración y la controlan, debido a que suprimen la producción endógeno de etileno y su actividad (Kader, 1980; Quazi y Freebeirn, 1970).

La sensibilidad al daño por frío de frutos tropicales no permite que se conserven en bajas temperaturas y como consecuencia, tienen una corta vida postcosecha, comparada con algunas especies templadas y subtropicales. Debido a lo anterior la mayoría de frutos tropicales tienen una vida postcosecha de sólo unas pocas semanas a lo más. Las atmósferas controladas y modificadas muestran potencial para mejorar la sensibilidad al daño en varios frutales incluyendo a los tropicales, sin embargo, solo se han usado para su transporte especialmente por mar, faltando por explotar su potencial para el almacén de estos frutos (Yahia, 1998).

La AC recomendada para frutos de aguacate es de 2-5 % de O₂ y 3-10 % de CO₂. Los beneficios incluyen un importante retardo en el ablandamiento y los cambios del color de la piel y disminuye las tasas de respiración y de producción de etileno. La AC reduce el daño por frío "chilling injury" del aguacate. El aguacate 'Hass' verde-maduro puede conservarse a 5-7 °C (41-45 °F) en 2 % de O₂ y 3-5 % de CO₂ por 9 semanas, y entonces madurarse en aire a 20 °C (68 °F) para alcanzar buena calidad. Se recomienda la eliminación del etileno de los almacenes de AC. Las concentraciones mayores a 10 % de CO₂ pueden incrementar el pardeamiento de la piel y pulpa y la generación de sabores desagradables, especialmente cuando el O₂ se encuentra en concentraciones menores al 1 % (Kader y Arpaia, 2000).

4.1. Envases para crear una Atmósfera Modificada (AM)

Un envase alimentario debe contener y proteger al producto envasado desde el momento y lugar de fabricación hasta el momento de su consumo (IFT, 1991). Durante décadas el envasado de productos frescos se ha realizado con películas poliméricas como forma de retener y proteger las frutas y hortalizas de los contaminantes ambientales (Schlimme y Rooney, 1997).

Un aspecto importante del envasado en atmósferas modificadas lo constituye el uso de películas poliméricas u otros materiales plásticos, tales como las bandejas semirígidas de adecuada permeabilidad que proporcionen la suficiente concentración de O_2 y CO_2 en el envasado, lográndose una reducción sustancial de la velocidad de respiración de los productos sin inducir una anaerobiosis significativa en los mismos (Schlimme y Rooney, 1997). La selección y el diseño del envase para atmósferas modificadas, tiene gran interés ya que se trata de conseguir un equilibrio entre la velocidad de la respiración del producto envasado y la permeabilidad de la película plástica, retardando con ello la relación entre maduración y senescencia de los productos y así incrementar la vida útil (Schlimme y Rooney, 1997). Por lo tanto, la selección del empaque adecuado es muy importante para garantizar un equilibrio en la respiración.

Al momento de implementar una nueva AM, se debe de tener cuidado en considerar la velocidad de respiración del producto fresco o mínimamente procesado a la temperatura seleccionada, conocer el cociente respiratorio del producto, especial énfasis en la cantidad de producto dentro del empaque, área superficial total del envase cerrado, velocidad del aire y humedad relativa en torno al envase, integridad del cierre del envase y considerar la HR al interior del envase ya en interacción con el producto (Schlimme y Rooney, 1997).

4.2. Permeancia de la película plástica

La permeancia se define como la transmisión de un agente que penetra a través de un material resistente (Kader *et al.*, 1989). El proceso de permeabilidad en los materiales de envasado poliméricos se lleva a cabo mediante la difusión activa en donde las moléculas del agente que penetra se disuelve en la matriz de la película, difundiéndose a través de ella como respuesta a un gradiente de concentración (Kester y Fennema, 1986).

El empaque en atmósfera modificada (MAP) consiste en encerrar y sellar con películas plásticas a frutas y hortalizas; estas películas son lentamente permeables a los gases de la respiración. Películas poliméricas, como el polietileno (PE), polietileno de baja densidad lineal (PLDL), cloruro de polivinilo (PVC), etilen-vinil-acetato (EVA), o una combinación de ellos se utilizan para generar una AM en cámaras selladas o en bolsas. Los productos sellados en películas plásticas reducen la concentración de O_2 y aumenta la de CO_2 con la respiración. Estos gases pueden cambiar en el empaque, produciendo bajas concentraciones de O_2 y altas concentraciones de CO_2 . Los niveles de estos gases alrededor de los frutos o vegetales depende de (Thompson, 1998):

- Cantidad de la fruta u hortaliza dentro del empaque o contenedor
- La temperatura de la fruta u hortaliza y del aire que lo rodea
- El tipo y grosor de la película plástica o membrana usada
- La humedad condensada en superficie interna de la película o membrana

Las propiedades de semipermeancia de las películas permiten que el exceso de CO_2 se difunda hacia fuera de ellas, pero sólo permite que haya una difusión limitada de CO_2 hacia adentro; a veces el aire dentro de la cámara o de las bolsas se purga con N_2 o CO_2 antes del sellado para establecer una AM rápidamente. Cuando los procesos de respiración y difusión de gases han alcanzado un equilibrio, las concentraciones de O_2 y CO_2 dependen de la cantidad y velocidad de respiración de los productos, la permeancia al gas y la

superficie de las películas. Teóricamente es posible establecer una AM ideal o cercana a la ideal en una cámara o paquete seleccionado el tipo y el grosor adecuados de una película para un producto. Sin embargo, técnicamente es muy difícil lograr tal combinación ideal. La velocidad de respiración de un producto cambia con la temperatura y a veces con la edad. La permeancia de la película no cambia con la temperatura a la misma velocidad que la respiración de un producto. Además, cuando se utiliza una película muy delgada, la permeabilidad no siempre es uniforme en toda la superficie debido a los orificios microscópicos o quemaduras que pueden ocurrir durante el sellado o empaclado. Todos estos factores pueden contribuir a una AM imprecisa (Blankeship, 1985).

En la respiración de los tejidos vegetales se utilizan considerables tasas de oxígeno, de ahí que las películas plásticas adecuadas para productos frescos necesitan un coeficiente de permeabilidad al O_2 relativamente alto a fin de evitar una película anóxica dentro del paquete. La difusión de gases tales como el oxígeno y el bióxido de carbono depende del tamaño, forma y polaridad de las moléculas que integran la película y por otra parte de la cristalinidad, grado de entrecruzamiento y movimiento segmental del polímero en la matriz de la película (Kader *et al.*, 1989; Kester y Fennema, 1986). Rosenfeld *et al.* (1999), encontró que cuando la película plástica queda ajustada al fruto, éste pierde sabor y textura comparado con frutos en donde la película no queda ajustada al fruto, es decir que existe aire dentro del empaque. Estos datos sugieren que la relación O_2 y CO_2 inicial dentro del empaque es de suma importancia para evitar cambios en la ruta respiratoria.

4.3. Humedad relativa en la conservación de frutos

Una alta humedad relativa durante el almacenamiento minimiza la transpiración y la pérdida de agua de los productos; también ayuda en algunos productos a mantener su vigor y a retardar la senescencia. Por tanto, la humedad relativa óptima puede ser de 95 hasta un 100 % para algunos productos. Sin embargo, una alta humedad relativa puede ocasionar condensación, crecimiento de

hongos en las superficies, crecimiento de raíces, epidermis agrietada, mayor deterioro, etc., entre otros. Por tanto, la humedad relativa óptima para diversos productos varía entre 40 y 100 % (Hardenburg *et al.*, 1986).

Dentro del empaque de una AM, la humedad relativa (HR) tiene gran importancia para alcanzar el óptimo de vida útil y de calidad durante el almacenamiento de los productos frescos y mínimamente procesados. La mayoría de las películas plásticas con destino al mercado de productos frescos exhiben una baja permeancia al vapor de agua (Kader *et al.*, 1989). A una HR por debajo de un 85-90 % el exceso de pérdida de humedad puede originar el marchitamiento en productos vegetales con hojas y el arrugamiento del tejido en muchas frutas y hortalizas. Por otra parte una HR extremadamente elevada, cercana al 100 % dentro del envase en AM (bajo condiciones de temperatura interna / externa apropiada), puede originar condensaciones de agua en la cara interna de la película y posteriormente depositarse el agua líquida sobre la superficie de los productos. También una elevada HR dentro del envase puede originar pérdidas de calidad en los productos debido a decoloraciones y a una disminución de la concentración de vitaminas (Thompson, 1998). El desarrollo de la podredumbre y alteración de los productos mediante un crecimiento acelerado de gérmenes o la transferencia de patógenos vegetales en un ambiente, dentro del envase, saturado de humedad puede destruir rápidamente la calidad de los productos y anular los efectos benéficos de las concentraciones bajas de O_2 y elevadas de CO_2 durante la maduración-senescencia. Se han desarrollado diversos empaques desde cajas de tela, películas plásticas, cajas de PVC hasta cajas de cartón con perforaciones. Los resultados en la efectividad han sido variables, provocándose dentro de los empaques condensación de agua y desarrollo de enfermedades por un inadecuado control de la humedad (Underhill *et al.*, 1997). La cantidad de condensado dentro del envase de AM se minimiza con un estricto control de la temperatura y haciendo que las fluctuaciones durante el almacenamiento y distribución sean mínimas (Schlimme y Rooney, 1997).

5. Cambios biológicos, bioquímicos y sensoriales en productos hortícolas mínimamente procesados

El procesamiento mínimo requiere muy frecuentemente de aguacates en madurez de consumo, mismos que son alterados de su forma original, es decir son sometidos a un proceso de desinfección, pelados y/o rebanados y posteriormente almacenados en condiciones de frigoconservación con algún tipo de envoltura, la cual induce una disminución considerable en la coloración del aguacate (Gerdes y Parrino-Lowe, 1995). El oscurecimiento que comúnmente acompaña a este tipo de productos, puede aminorarse con el uso de SO_2 , aunque el uso de este químico no está permitido para los productos alimenticios dado el daño que ocasionaría a los consumidores; ante esta situación el uso de agentes antioxidantes y de ácidos orgánicos son una muy viable alternativa, siendo el caso del ácido cítrico, ascórbico, etc. El uso de atmósferas modificadas en general (incluyendo al vacío) no resultan muy eficientes en la reducción del oscurecimiento aún y cuando su uso se encuentre ampliamente difundido, ya que éste puede inducirse a partir de condiciones de anaerobiosis (Spalding y Marousky, 1981). Estudios en aguacate 'Hass' han demostrado que es posible obtener buena calidad de los frutos después de 9 semanas de almacenamiento a 5 °C en atmósferas modificadas por el empaque, demostrando además que el cultivar 'Fuerte' es más susceptible a daños por frío y tiene una vida de almacenamiento más corta que el cv. Hass. Como el fruto 'Fuerte' permanece verde a la madurez, algunas manchas cafés o negras en la cáscara son notables, por esta condición es más difícil mantenerlo con buena apariencia; mientras que el fruto 'Hass' se torna negro durante la maduración. Las bajas concentraciones de etileno acumuladas en las bolsas provocaron una baja incidencia de decoloración en la pulpa (gris) en el fruto cv. Fuerte (Meir *et al.*, 1998).

5.1. Maduración

Las atmósferas modificadas y el uso de temperaturas de frigoconservación, son capaces de retrasar el proceso de maduración-senescencia. La alta humedad obtenida con empaque de polietileno retrasa la pérdida de agua en el fruto, dando una inhibición de la madurez a causa de la composición de gases creada dentro de las bolsas (Meir *et al.*, 1998). Picchioni y Watada (1998), encontraron que en zanahorias rebanadas, el contenido total de fosfolípidos se incrementa con el periodo de frigoconservación y que cuando la relación entre fosfatidiletanolamina y fosfatidilcolina disminuye, la membrana se vuelve rígida, lo cual está asociado con la senescencia. Rirtenour *et al.* (1997), encontraron que concentraciones de etanol (aire saturado al 80 %) retrasan la maduración en aproximadamente 6 días en frutos de aguacate.

5.2. Acumulación de etileno

Las bajas atmósferas en O₂ (0.25 %) y/o elevadas en CO₂ (10 o 20 %) reducen significativamente la producción de etileno y la tasa de respiración. Gorny *et al.* (1999), mencionaron que frutos de aguacate cv. Hass almacenados en atmósferas controladas con niveles de O₂ inferiores a 5 % pueden causar desvíos hacia el metabolismo anaerobio. En duraznos, los ritmos de producción de C₄H₂ incrementan con la madurez del fruto y la temperatura de almacenamiento (Gorny *et al.*, 1998b). En manzanas rebanadas y almacenadas en atmósferas modificadas el uso de absorbentes de etileno mantienen baja la concentración de éste dentro del empaque (Senesi y Pastine, 1997). El nivel de acumulación de etileno en rebanadas de durazno dentro de las bolsas almacenadas a 5 °C disminuye al incrementar la cantidad de frutos en las bolsas (Gorny *et al.*, 1999).

5.3. Respiración

Uno de los principales efectos de las atmósferas modificadas en el metabolismo de las frutas y hortalizas es el descenso de la tasa respiratoria con una disminución en el consumo de sustratos, producción de CO₂, consumo de O₂,

aunque es necesario que ésta no sea inferior al 3 %, 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, cultivar, temperatura y tiempo de conservación. 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 (Romojaro *et al.*, 1996).

En durazno la tasa respiratoria incrementa con la madurez del fruto y la temperatura de almacenamiento (Gorny *et al.*, 1998b).

5.4. Daños por frío

Yahia (1997) mencionó que una composición atmosférica óptima para periodos prolongados de almacenamiento en aguacate es aproximadamente de 2-5 % de O_2 y de 3-10 % de CO_2 , consiguiendo con ello retrasar la maduración y disminuir los daños por frío, aunque según Gerdes y Parrino-Lowe (1995), en el caso del aguacate cv. Hass los daños por frío y en general los desórdenes fisiológicos se incrementan especialmente en los mínimos debido al grado de madurez requerido.

5.5. Sabor

Las atmósferas modificadas por arriba de 10 % de CO_2 y con suficiente O_2 para prevenir el metabolismo fermentativo (producción de etanol y acetaldehído) pueden ser usadas también en combinación con temperaturas superiores de 10 °C para extender la vida de anaquel y la calidad de las rebanadas de durazno. (Gorny *et al.*, 1999). Portela y Cantwell (1998), encontraron que melones almacenados en atmósferas controladas no desarrollaron olores extraños y que el aroma natural se mantiene. Mattheis y Fellman (1999), indicaron que la estación, la temperatura durante el desarrollo, el riego, la nutrición de la planta, el manejo de pesticidas y el uso de reguladores del crecimiento afectan el sabor de los frutos.

5.6. Mal olor

La peroxidación enzimática de los ácidos grasos insaturados es el ejemplo más grave de las modificaciones bioquímicas del aroma de las hortalizas que han sido procesadas mínimamente. Esta peroxidación está catalizada por lipoxidasas y da origen a la formación de numerosos aldehídos y cetonas (Hildebrand, 1989). Este tipo de cambios puede verse favorecido por las condiciones creadas en las atmósferas modificas, alterando el contenido natural de los acetaldehídos y cetonas al tiempo de propiciar condiciones de anaerobiosis (Spalding y Marousky, 1981).

Gowen (1928) señaló que los guisantes desenvainados mecánicamente desarrollan un olor muy desagradable a las 4-6 h a temperatura ambiente. Al aplastamiento de los guisantes se le ha atribuido un importante papel en el desarrollo de los malos olores tardíos.

Los hidroperóxidos son compuestos inestables que pueden ser citotóxicos y afectar particularmente a proteínas y membranas celulares (Watada *et al.*, 1990). La alteración de las membranas puede originar la rotura de las barreras de difusión y de esta forma generarse desórdenes fisiológicos.

5.7. Decoloración

La principal decoloración que ocurre en los tejidos vegetales magullados es el pardeamiento enzimático (Mayer, 1987). Las reacciones enzimáticas implicadas en la decoloración por pardeamiento están aún no totalmente investigadas. El valor pH afecta profundamente a la actividad enzimática; una reducción de 0.5 en el pH normal de la manzana se traduce en una disminución del 50 % en la actividad de la PFO (polifenoloxidasas) de los cloroplastos (Harel *et al.*, 1964).

5.8. Pérdida de firmeza

Hong y Gross (1998), concluyeron que el hipoclorito de sodio que comúnmente se usa en la sanitización, puede influir en la disminución de la firmeza. Sin embargo, el uso de cloruro de calcio ($1000 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$) retrasa el metabolismo manteniendo la firmeza del melón rebanado (Luna *et al.*, 1999); aunque en el caso de mitades de aguacate, el sometimiento a temperaturas de frigoconservación puede ocasionar una disminución de la textura en la pulpa, pasando de una consistencia cremosa a una condición húmeda (exudación) (Scudemore-Smith, 1984).

Meir *et al.* (1998), manifestaron que probablemente la combinación de la baja concentración de O_2 , la elevada concentración de CO_2 y la relativamente baja concentración de etileno dentro de las bolsas de polietileno, junto con la baja temperatura de almacenamiento (5°C) mantienen la firmeza uniforme en frutos de aguacate 'Fuerte' después de 10.5 semanas de almacenamiento, mientras que una alternativa también viable resulta el uso de antioxidantes como 1 % de pirofosfato tetrasódico +2 % de cisteína a pH 5.5 y una A_w de 0.80, mismos que según Dorantes *et al.* (1998), a parte de accionar como inhibidores del oscurecimiento, son capaces de mantener la firmeza, el color y el sabor.

En melones, las atmósferas controladas mantienen la firmeza (Portela *et al.*, 1998). Pesis *et al.* (1998) encontraron que la actividad de enzimas que degradan la pared celular de frutos de aguacate es inhibida por la aplicación de vapor de acetaldehído, disminuyendo la pérdida de la firmeza y retrasando la producción de etileno.

5.9. Pérdida de peso

Watada y Qi (1999), mencionaron que los productos cortados en fresco son altamente susceptibles a la pérdida de peso porque los tejidos internos son expuestos al ambiente, sin embargo la humedad relativa generada por películas

plásticas es muy alta evitando la deshidratación y con ello la pérdida de peso (Meir *et al.*, 1998).

Meir *et al.* (1998) encontraron que frutos de aguacate cv. Fuerte almacenados por 6.5 semanas en bolsas selladas perdieron menos del 1 % de su peso, mientras que los frutos testigos perdieron cerca del 9-11 % de su peso.

5.10. Oscurecimiento enzimático

La temperatura de almacenamiento esta poco relacionada con la intensidad del oscurecimiento enzimático, la deshidratación localizada de la ruptura de las células en la superficie del corte es la causa de este problema, en rebanadas de durazno y nectarinas justo como en zanahorias mínimamente procesadas (Gorny *et al.*, 1998a) y en manzanas (Gil *et al.*, 1998). El uso de 1 % de pirofosfato tetrasódico + 2 % de cisteína como inhibidores del oscurecimiento enzimático en rebanadas de aguacate mantienen el color, sabor y firmeza (Dorantes *et al.*, 1998). Lizana (1997), encontró que frutos de aguacate almacenados con 5 % de CO₂ y 2 % de O₂ después de 15 días a 18 °C no mostraron oscurecimiento interno; mientras que Gerdes y Parrino-Lowe (1995), mencionan que aún y con una atmósfera de 5 % de CO, 15 % de O₂ y 80 % de CO₂ conteniendo mitades de aguacate cv. Fuerte en madurez de consumo, no fue capaz de reducir en forma sustancial el oscurecimiento.

6. Evaluación sensorial de los alimentos

6.1. Importancia y definición

La Evaluación Sensorial ha sido definida por el Institute of Technologists in Foods, (IFT) como: "Una disciplina científica que se utiliza para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones que producen las características de los alimentos y material tal y como son percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído" (IFT, 1981).

Aunque están ahora disponibles instrumentos sofisticados de medición tales como: cromatógrafo de gases, espectrómetros de masas, etc., la importancia del analista sensorial también ha emergido y avanzado (Jellineck, 1990), y al mismo tiempo se ha utilizado como unidad instrumental, que al igual que un instrumento físico puede analizar y medir atributos, tales como: aroma, sabor, textura, etc., con la única diferencia de que el hombre es mucho más sensitivo que un instrumento físico, sobre todo en lo que se refiere a olor y sabor. El método más sensible empleado para la evaluación sensorial, es el cromatógrafo de gases, el cual puede detectar 10^9 moléculas·ml⁻¹, comprobándose que la nariz del hombre detecta de 10-100 moléculas más que este instrumento y que los métodos químicos (Meilgaard *et al.*, 1999; Jellineck, 1990), por lo que se considera más sensitivo.

La evaluación sensorial por medio de jueces sensoriales perfectamente entrenados ha tenido un gran campo de aplicación en la ciencia de los alimentos y en áreas afines relevando su amplio potencial de aplicación en:

- Desarrollo de nuevos productos. Mediante la formulación de nuevos productos o bien modificando los ya existentes, en la determinación de los ingredientes y porciones óptimas, en la duplicación o imitación y descripción de las características de productos ya existentes para poder competir con ellos en el mercado (IFT, 1981; Zook y Wessman, 1977).
- En el control de calidad. Para asegurar que un producto sea lo más similar al patrón de fábrica así como para determinar las pautas sensoriales desde la producción, manufactura y almacenamiento con el fin de mantener las normas comerciales (IFT, 1981; Zook y Wessman, 1977; Stone y Sidel, 1981).
- En la elaboración de normas. Estableciendo criterios de calidad y referencia a través de los cuales la materia prima, los ingredientes y el producto terminado puedan ser calificados y evaluados (Pedrero y Pangborn, 1989).

- En la determinación de la vida de anaquel. A fin de caracterizar y/o cuantificar los cambios que pudieran haber ocurrido durante el almacenamiento evitando con ello que la aceptación del producto se vea afectada (IFT, 1981).
- En la correlación de datos sensoriales con aquellos obtenidos por medio físicos, químicos e instrumentales, permitiendo desarrollar cálculos de propiedades sensoriales de manera más inmediata y reproducible (IFT, 1981; Pedrero, 1983).
- En un esfuerzo por lograr una mejor comprensión y predicción de las respuestas humanas para aromas, gustos, texturas, etc., se ha utilizado la evaluación sensorial en el estudio de los factores psicológicos y fisiológicos que influyen en el proceso de percepción de las propiedades sensoriales de un producto (Pangborn, 1964; Pedrero y Pangborn, 1989).
- En la reducción de costos de producción al sustituir un ingrediente por otro más económico sin alterar sus características sensoriales deseables (IFT, 1981).
- Sirve también para analizar los distintos grupos de consumidores, a fin de comprender la importancia de las propiedades sensoriales, su aceptación y rechazo, así como la preferencia y el nivel de agrado en relación con los atributos del producto mismo (Stone et al., 1991; Zook y Wessman, 1977).

6.2. Clasificación de los métodos de evaluación sensorial

El análisis sensorial se lleva a cabo de acuerdo con diferentes pruebas, según sea la finalidad para la que se efectúe. Existen tres tipos principales de pruebas: las pruebas afectivas, las discriminativas y las descriptivas (Cuadro 6).

Cuadro 6. Clasificación de los métodos de evaluación sensorial (IFT, 1981)

Método y función	Métodos apropiados
<u>ANALÍTICA.</u> Evalúa diferencias o similitudes, calidad y/o cuantificación de características sensoriales del producto. 1. Discriminativas. a). Diferencia: medidas simples, en muestras diferentes. b). Sensitivo: Medidas habilitadas por individuos que detectan las características sensoriales. 2. Descriptivo. Medidas cualitativas y/o características cuantitativas.	Apareada simple, Dúo-Trío, Triangular, "Ranking" y "Control" vs. "Control". Umbral, Dilución, Medición de atributos como la escala categórica, proporción de escala, análisis descriptivo, análisis de perfil de sabor, análisis de perfil de textura y QDA.
<u>AFFECTIVA.</u> Evaluación de preferencia y/o aceptación y/o opinión del producto. 1. Cualitativas: proporcionan conocimiento de las características del producto mediante una entrevista (cuestionario). 2. Cuantitativas: Son pruebas de preferencia, aceptabilidad u ordenamiento.	Grupos focales, paneles focales y entrevistas. Aceptabilidad, pruebas apareadas, categorías, rango (escala) de las cuales se observan principalmente a las hedónicas y a la escala activa en alimentos.

Las pruebas discriminativas se utilizan para ver si existe diferencia entre productos o para medir la habilidad de individuos para detectar características sensoriales.

Las pruebas descriptivas se utilizan para identificar y cuantificar características sensoriales. Para este tipo de pruebas es necesario contar con jueces con experiencia y/o entrenamiento para percibir diferencias entre productos. Además de ser entrenados para el análisis descriptivo cuantitativo y para llevar a cabo algún perfil de sabor o textura. Estas pruebas son del tipo analítico y son altamente objetivas, ya que los datos recopilados a partir de ellas son analizados estadísticamente (IFT, 1981).

Las pruebas afectivas son llevadas a cabo por alguna población específica en donde es o va a ser consumido el producto, generalmente para ver cuanto

aceptan o prefieren a este producto. Este tipo de pruebas son muy subjetivas, ya que el consumidor es quien actúa como jurado para determinar diferencias en el nivel de agrado. La aceptabilidad puede ser definida como una experiencia o característica experimentada para caracterizar una actitud positiva y/o utilización actual. Esta puede ser medida por la preferencia o gusto de un alimento específico (IFT, 1981).

6.3. Análisis cuantitativo descriptivo (QDA)

En su realización involucra un grupo de juicios de panelistas entrenados (5-10 personas), quienes mediante ciertas habilidades individuales, tales como son la identificación y cuantificación, en el orden de ocurrencia, las propiedades sensoriales del producto y de los ingredientes. Estos datos facilitan el desarrollo apropiado de modelos de productos multidimensionales en forma cuantitativa que se extiende alrededor de los mercados rápidamente. La técnica también se ha usado con éxito para el desarrollo de datos acerca de los conceptos e idealización de productos antiguos con el actual desarrollo de trabajos que son iniciados.

Para el análisis de los resultados se emplea el análisis de varianza y algunas técnicas de análisis multivariado para obtener de múltiples repeticiones, una descripción cuantitativa de los atributos sensoriales de un alimento, que se expresan en gráficas radiales llamadas telas de araña (Stone y Sidel, 1993), mismas que nos proporcionan una descripción completa de los productos y proveen una base para la determinación de atributos sensoriales que son importantes en la aceptación y calidad de los mismos.

Los rasgos básicos de esta técnica son los siguientes (Stone *et al.*, 1974):

- Introspección de confianza "Releed" sobre el desarrollo de la percepción de atributos sensoriales, que son evaluados de forma estadística.

- Desarrollo de lenguaje en proceso de grupo, que tiene un administrador del panel que provee la dirección y guía la actividad de los participantes y de la evaluación de los productos.
- Selección subjetiva basada en la ejecución de las pruebas de los productos, sin usar un sistema modelo.
- Repeticiones, entre 12-16 se realizan para cada sujeto del panel y para el seguimiento individual.
- Selección de reemplazos. Requiere menos de un mes, usualmente menos de 20 horas de entrenamiento.
- Todos los datos son colectados individualmente, utilizando la codificación de la muestra.
- Intervalos de escala son usados para medir la intensidad de la percepción de los atributos individuales.
- Análisis de varianza (de una o dos formas) es usada para analizar los datos de forma individual y ver el desempeño del panel.
- La correlación de coeficientes es usada para determinar las relaciones entre varias escalas.
- Análisis de componentes principales, factor de análisis, etc., son usados para determinar las primeras variables sensoriales y eliminar la redundancia.
- El modelo multidimensional es desarrollado y se establece una relación con las respuestas del consumidor y otras mediciones externas.

La evolución de las técnicas de evaluación sensorial, se han orientado hacia los estímulos. En consideración a la magnitud, en este medio hace falta la apreciación de los aspectos del comportamiento de cómo se han percibido. El enfoque de esta técnica es en aspectos psicofísicos, percepciones y la aplicación de los intervalos de las escalas técnicas hacia un problema de característica de sabor (Meilgaard *et al.*, 1999).

La caracterización de la percepción del sabor en los alimentos es una tarea muy compleja. Tradicionalmente, cada compañía hace emplear uno o varios

individuos que son considerados “expertos”, los cuales utilizan el gusto, el olfato, el tacto y otros materiales de apoyo, para realizar sus pruebas sensoriales (Meilgaard *et al.*, 1999).

6.3.1. Tipos de jueces

Se llama juez al individuo que está dispuesto a participar en una prueba para evaluar un producto valiéndose de la capacidad perceptiva de uno o varios sentidos. Se distinguen dos tipos de jueces (Pedrero y Pangborn, 1989):

Analítico u objetivo, para evaluar diferencias, intensidades y calidades de muestras. Es aquel que ha sido seleccionado entre un grupo de candidatos por demostrar una sensibilidad sensorial específica, deseada para el estudio. La persona que actúe como juez debe recibir un entrenamiento acerca del método que seguirá para efectuar su evaluación y sobre las características de importancia del producto que se evaluará.

Efectivo o consumidor, para evaluar aceptación, preferencia o nivel de agrado. La persona que participa como juez consumidor es precisamente un consumidor del producto en estudio; y comunicará al investigador su punto de vista con respecto a:

- Su aceptación o rechazo de una o varias muestras, o
- El orden de su preferencia al confrontar varias muestras, o
- El nivel de agrado de las muestras que le presenten.

6.4. Características de los atributos sensoriales

La evaluación sensorial evalúa características de un producto, ingrediente o modelo, de las cuales se pueden mencionar: apariencia, olor, gusto, textura, sonido (Pedrero y Pangborn, 1989).

6.4.1. Apariencia

Este aspecto es de los más frecuentemente empleado para la compra de un producto. Las características más importantes de la apariencia son el color, tamaño y forma, textura de la superficie, claridad, etc. (Meilgaard *et al.*, 1999).

6.4.2. Olor

El olor es la percepción, por medio de la nariz, de sustancias volátiles liberados por los objetos. Dentro del olor característico de un alimento existen diferentes componentes. Otra característica del olor es la intensidad o potencia de éste. Además la relación entre el olor y el tiempo es muy importante, ya que el olor es una propiedad sensorial que presenta dos atributos contradictorios entre sí, en los cuales esta involucrado el tiempo. El primero es la persistencia, es decir que aún después de haberse retirado la sustancia olorosa, la persona continúa percibiendo el olor. La otra característica es más bien relacionada con la mente o con la zona olfatoria del cerebro, tan es así que impide a éste que perciba algunos otros atributos; pero después de un cierto tiempo, el mecanismo cerebral restablece la atención hacia los demás sentidos, y por ello se pierde la sensación del olor o uno se acostumbra a ella (Anzaldúa, 1994).

6.4.3. Aroma

Esta propiedad consiste en la percepción de las sustancias olorosas o aromáticas de un alimento después de haberse puesto éste en la boca. Dicha sustancias se disuelven en la mucosa del paladar y la faringe, y llegan a los centros censores del olfato (Meilgaard *et al.*, 1999).

El aroma es el principal componente del sabor de los alimentos, ya que el aroma no es detectado por la nariz sino por la boca, ésta puede quedar insensibilizada a los aromas y sabores por el uso y abuso del tabaco, drogas o alimentos picantes o muy condimentados (Anzaldúa, 1994).

6.4.4. Gusto

El gusto o sabor básico de un alimento puede ser ácido, dulce, salado o amargo; o bien, puede haber una combinación de dos o más de estos cuatro. Esta propiedad es detectada por medio de la lengua. Este sentido reside en la lengua, la cual contiene varias protuberancias o gránulos llamados papilas gustativas. Las papilas de la punta de la lengua perciben el dulzor de los alimentos (papilas lingiformes) mientras que los gustos salados y ácido se detectan en los costados de dicho órgano (papilas filiformes). Las papilas caliciformes, en la parte posterior de la lengua, perciben el amargor de las sustancias.

Para las pruebas de sabor es necesario conocer la habilidad de los jueces para la percepción del gusto del alimento, así como la concentración de umbral del sabor para el grupo de jueces (Meilgaard *et al.*, 1999).

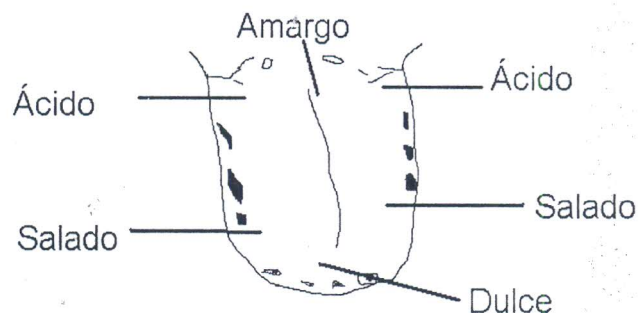


Figura 1. Diagrama de identificación de los gustos básicos en el área de la lengua (Jellineck, 1990)

6.4.5. Sabor

Este atributo de los alimentos es muy complejo, ya que combina tres propiedades: el olor, el aroma y el gusto. El sabor es la suma de las tres características y por lo tanto, su medición y apreciación son más complejas que cada propiedad por separado (Anzaldúa, 1994).

El sabor es lo que diferencia a un alimento de otro y se ve influido por el color y la textura. Cuando se prueba el sabor de un alimento, para medirlo o compararlo, es importante enmascarar a las otras propiedades mencionadas, para evitar la influencia de éstas en las respuestas de los jueces (Anzaldúa, 1994).

6.4.6. Textura

Es la propiedad sensorial que es detectada por los sentidos del tacto, la vista y el oído, y que se manifiesta cuando el alimento sufre una deformación (Anzaldúa, 1994).

Las propiedades o características de la textura se ubican en tres categorías: atributos mecánicos, geométricos y de composición. Los primeros dan una indicación del comportamiento mecánico del alimento ante la deformación y pueden, a su vez, dividirse en primarios y secundarios. Los primarios son los que se correlacionan con una propiedad mecánica tal como la fuerza, deformación o energía, mientras que los secundarios son los que resultan de la combinación de propiedades primarias (Anzaldúa, 1994).

Los atributos geométricos son aquellos relacionados con la forma o la orientación de las partículas del alimento, por ejemplo, fibrosidad, cristalinidad, porosidad, esponjosidad, granulosidad, etc (Anzaldúa, 1994).

Los atributos de composición son los que aparentemente indican la presencia de algún componente en el alimento, por ejemplo, humedad, granulosidad, harinosidad, etc. (Anzaldúa, 1994).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

I. Experimento previo

A fin de desarrollar la investigación fue necesario implementar un experimento previo que comprendió tres fases en las que fueron observados atributos sensoriales como el color, sabor, textura, olor y apariencia.

Fase I. Inhibidores del oscurecimiento

Dado que uno de los principales problemas en la preservación de aguacate mínimamente procesado es el oscurecimiento enzimático, proceso catalizado por la polifenoloxidasa, esta fase pretendió determinar la efectividad del tratamiento térmico *versus* el tratamiento químico sobre la inhibición de dicha enzima.

Para determinar la efectividad del tratamiento térmico, se experimentó, con dos distintos tratamientos, 75 °C durante 3 minutos (Corrales-García y Chávez-Franco, 1980) y 40 °C durante 30 minutos (Bates, 1970), así como un grupo testigo de rebanadas de aguacate (sin tratamiento térmico) y tres frutos por tratamiento, con lo que se emplearon 54 frutos (para 18 tratamientos), la calidad de los mismos era calibre de segunda, es decir de aproximadamente 100 a 120 g de peso por fruto, los cuales se encontraban al momento de la compra ya en madurez de consumo. Al día siguiente de la compra de los frutos se procedió a desinfectarlos con una solución de hipoclorito de sodio (pH 7.0). Posteriormente, los frutos se dejaron escurrir e inmediatamente después se cortaron en rebanadas y se sometieron en grupos según el tratamiento térmico aplicado, el cual consistió de dos temperaturas, 75 °C durante 3 minutos (Corrales-García y Chávez-Franco, 1980) y 40 °C durante 30 minutos (Bates,

1970) sin olvidar el grupo de rebanadas de aguacate que sirvieron como testigo. Se emplearon tres frutos por tratamiento. Transcurrido el tiempo respectivo las rebanadas fueron retiradas del agua caliente y puestas a choque térmico, dejadas escurrir y empacadas en charolas de unicel y observadas por diariamente durante tres días, ya que fueron almacenadas a diferentes temperaturas.

Con relación a la efectividad del tratamiento químico, se experimentó con seis temperaturas (2, 3, 5, 7, 10 y 20 °C), tres mezclas de antioxidantes y un grupo control (sin antioxidantes) y tres aguacates por tratamiento, con lo que de manera global se emplearon 72 frutos (para 24 tratamientos), mismos que observaron un peso de 135 a 145 g, los cuales se encontraban al momento de la compra en madurez de consumo. Dichos frutos fueron previamente desinfectados con hipoclorito de sodio (pH 7.0), escurridos, cortados y pelados.

De cada mezcla de antioxidantes se preparó 1 litro de solución en la que las rebanadas de aguacate fueron inmersas durante 10 minutos. Las mezclas empleadas fueron: 300 mg·litro⁻¹ de β -tocoferol, 200 mg·litro⁻¹ de ácido L-ascórbico y 200 mg·litro⁻¹ de butilhidroxi-tolueno (BHT), la segunda mezcla consistió de 300 mg·litro⁻¹ de ácido cítrico y 200 mg·litro⁻¹ de eritorbato tetrasódico y la tercera mezcla consistió de 1 % de pirofosfato tetrasódico y 0.2 % de cisteína (Dorantes-Álvarez *et al.*, 1998), específicamente para la tercer mezcla el pH óptimo en el que ésta mezcla reporta su mayor efectividad es de 5.5 bajando el pH con HCl y adicionando 0.1 % de sorbato de sodio, según Dorantes-Álvarez *et al.* (1998).

Transcurrido el tiempo de inmersión, las rebanadas fueron escurridas y empacadas en charolas de unicel a diferentes temperaturas, siendo observadas diariamente durante tres días.

Fase II. Concentración óptima de antioxidantes y temperatura de almacenamiento

Los compuestos más importantes utilizados para la estabilización de frutas y hortalizas son los agentes reductores y ciertos agentes quelantes, que no son realmente oxidantes, sin embargo son capaces de prevenir las reacciones oxidativas en frutas y hortalizas, como es el caso del ácido L-ascórbico, del β -tocoferol sin pasar por alto al butilhidroxi-tolueno (Anónimo, 1992). El uso de estos antioxidantes en las proporciones correctas repercute en características sensoriales y nutricionales deseables en el producto, mismas que son mantenidas por más tiempo.

No menos importante es el control de temperatura a fin de mantener la calidad de los productos. Cuando se separan de la planta, las frutas, hortalizas y flores son aún tejidos vivos que respiran. La conservación del producto a la temperatura más baja posible sin que se alcance el punto de congelación (0 °C para cultivos templados ó 10-12 °C para los tropicales o subtropicales sensibles a daño por frío) aumentará la vida de anaquel del mismo, ya que las temperaturas bajas disminuyen la tasa de respiración y la producción de etileno, el proceso de maduración, la senescencia y otros cambios conducentes al deterioro de la calidad (Liu, 1992). Por lo anterior, en esta fase se pretendió determinar las mejores condiciones de almacenamiento para el aguacate mínimamente procesado expuesto a diferentes temperaturas y mezclas de antioxidantes.

Partiendo de los resultados de la fase anterior, se procedió a probar dos temperaturas mas el testigo a fin de determinar la más conveniente y para lo cual se emplearon 18 frutos y se experimento con tres temperaturas (2, 5 y 20 °C), dos concentraciones de antioxidantes y empleamos tres frutos por tratamiento, mismos que fueron observados diariamente y durante los próximos cuatro días. Los frutos empleados, pesaron de 145 a 176 g y se encontraban en

madurez de consumo. Mismos que fueron previamente desinfectados con hipoclorito de sodio (pH 7.0), escurridos, cortados y pelados e inmediatamente sumergidos por 10 minutos en cada una de las dos concentraciones de la mezcla compuesta de β -tocoferol + ácido L-ascórbico + butilhidroxi-tolueno.

De cada concentración se preparó 1 litro de solución y las concentraciones empleadas fueron: concentración uno consistió de $300 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de β -tocoferol + $200 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de ácido L-ascórbico + $200 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de butilhidroxi-tolueno, mientras que la concentración dos consistió de $600 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de β -tocoferol + $800 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de ácido L-ascórbico + $400 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de butilhidroxi-tolueno. Todas a pH 7.0

Posteriormente las rebanadas de aguacate se escurrieron y empacaron en charolas de unicel y se almacenaron a diferentes temperaturas.

Fase III. Selección de envase para atmósfera modificada

Un envase alimentario debe contener y proteger al producto envasado desde el momento y lugar de fabricación hasta el momento de su consumo (IFT, 1991).

La selección y el diseño del envase para atmósferas modificadas, tiene gran interés ya que se trata de conseguir un equilibrio entre la velocidad de la respiración del producto envasado y la permeabilidad de la película plástica, retardando con ello la relación entre maduración y senescencia de los productos y así incrementar la vida útil (Schlimme y Rooney, 1997), razón por la que en esta fase se experimentó con diferentes polímeros plásticos y la finalidad fue de encontrar al menos dos películas plásticas convenientes para el almacenamiento del aguacate mínimamente procesado.

Las películas con las cuales se trabajó fueron: poliolefina (PLF), polipropil, polietileno de baja densidad lineal (PLDL), cloruro de polivinilo (PVC) y Vacuum

300. Con todas estas películas se procedió a realizar bolsas que envolvieron a las charolas con aguacate.

Se emplearon 25 frutos de aguacate en madurez de consumo, mismos que fueron desinfectados con una solución de hipoclorito de sodio (pH 7.0), posteriormente escurridos, rebanados y pelados. Posteriormente fueron inmersos en un litro de solución, compuesta por 600 mg·litro⁻¹ de β -tocoferol + 800 mg·litro⁻¹ de ácido L-ascórbico + 400 mg·litro⁻¹ de butilhidroxi-tolueno a pH 7.0 durante 10 minutos. Enseguida se escurrieron y empacaron en charolas de unicel y se sellaron en diferentes bolsas. Se utilizaron tres frutos por cada película, con lo que para esta fase se tuvo un total de 25 charolas (5 charolas por día de observación) que se almacenaron a 5 °C y se observaron diariamente durante los siguientes cinco días. Posterior al experimento previo y una vez que se contaron con las bases suficientes se emprendió la investigación formal.

2. Material vegetal

Los frutos de aguacate empleados en este trabajo fueron del cultivar Hass. El grado de cosecha se determinó cuando la epidermis del fruto cambió de color verde brillante a verde oscuro con la aparición de manchas marrón y un incremento notable en el número de lenticelas. La cosecha se realizó en un huerto establecido en la Fundación Sánchez Colín CICTAMEX S. C., ubicado en Coatepec Harinas, Edo. de México a una altitud de 2270 msnm a una Latitud Norte de 18°56' y una Longitud Oeste de 99°46'. Los frutos fueron trasladados inmediatamente al laboratorio de Fisiología de Frutales del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo (la cual se localiza en el Estado de México a 2250 msnm a una Latitud Norte de 19° 22' y 90° 35' de Longitud Oeste), en donde se dejaron madurar en una cámara permaneciendo seis días a una temperatura de 25 °C, cambiando la firmeza de la pulpa del

estado inmaduro o sazón al estado maduro a una velocidad de ablandamiento de 0.83 mm de penetración·día⁻¹. Posteriormente los frutos fueron desinfectados con hipoclorito de sodio a pH 7.0 (100 ml·litro⁻¹ durante 10 minutos) y enseguida se procedió al escurrido y secado en toallás de papel de estraza, rebanado, pelado e inmersas en una solución con antioxidantes (0.6 g de tocoferol + 0.8 g de ácido ascórbico + 0.4 g de butilhidroxi-tolueno por litro) durante 10 minutos y finalmente se empacaron en charolas de unicel cubiertas con dos tipos de películas plásticas: polietileno de baja densidad lineal (PLDL) y vacío con vacuum 300.

El producto se pesó al inicio (después del empaque) y final del experimento (a la salida de frigoconservación) haciéndose un seguimiento del mismo cada dos días. Posteriormente se procedió al almacenamiento del aguacate mínimamente procesado a 5 y 20 °C ambos a 90-95 % de HR. durante los 13 días siguientes, realizándose observaciones cada tres días (0, 3, 5, 7, 9, 11 y 13).

La unidad experimental consistió de una charola con seis rebanadas de aguacate con un peso similar, alrededor de los 190 g, utilizándose cuatro repeticiones para cada tratamiento, con lo que para todo el experimento se emplearon 192 charolas, examinando por día de evaluación un total de 32 charolas. Los tratamientos fueron los siguientes:

1. PLDL sin antioxidante almacenado a 20 °C.
2. PLDL con antioxidante almacenado a 20 °C.
3. Vacuum 300 sin antioxidante almacenado a 20 °C.
4. Vacuum 300 con antioxidante almacenado a 20 °C.
5. PLDL sin antioxidante almacenado a 5 °C.
6. PLDL con antioxidante almacenado a 5 °C.
7. Vacuum 300 sin antioxidante almacenado a 5 °C.
8. Vacuum 300 con antioxidante almacenado a 5 °C.

Desde el inicio y hasta el final del experimento (13 días de almacenamiento) y con el fin de evaluar las respuestas sensoriales en el aguacate mínimamente procesado, se llevó a cabo un Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA) con los mejores tratamientos por día de observación (día 0 correspondiendo a la condición inicial de los frutos).

Los tratamientos de PLDL tanto a 20 y 5 °C mostraron a partir del día cinco de almacenamiento, desarrollo de hongos por lo que sólo fueron observados hasta el día nueve y desechados para las observaciones de los días once y trece. Los factores y niveles fueron los mismos y se consideraron como bloques a los panelistas que llevaron a cabo el QDA.

3. Variables evaluadas

3.1. Pérdida fisiológica de peso

Las pérdidas de peso acumulativas se cuantificaron en función de la diferencia del peso inicial y aquellas que se registraron en cada evaluación, quedando como porcentaje con relación al valor inicial, empleándose una balanza digital Ultratec Española. El porcentaje de pérdida de peso se obtuvo por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Pérdida fisiológica de peso (\%)} = \frac{\text{Peso inicial (g)} - \text{Peso final (g)}}{\text{Peso final (g)}} \times 100$$

3.2. Color

Se evaluó mediante un colorímetro portátil Color Tec-PCM, el cual indica la lectura de color por tres parámetros. "L" que mide la luminosidad, **a** que registra tonalidades correspondientes al color verde (-a) o color rojo (+a) y **b** que registra tonalidades correspondientes al amarillo (+b) y azul (-b). Esta

variable se determinó ubicando el centro de las rebanadas de aguacate contenidas en las charolas sujetas a evaluación para la toma de datos. El color fue medido por dimensiones Ángulo Hue ($\tan^{-1} b/a$) útil para medir los cambios de color, el índice de saturación $(a^2+b^2)^{1/2}$ con el que se evalúa la pureza del color y "L" para determinar el cambio de brillantez (Minolta, 1994).

3.3. Firmeza

Se determinó con un penetrómetro digital marca Compact Gauge con un puntal de 8 mm de diámetro, el cual cuantificó la fuerza necesaria para penetrar la pulpa registrando las unidades en Newtons de acuerdo al valor máximo registrado. Esta variable se determinó bajando el puntal hacia el centro de las rebanadas de aguacate contenidas en las charolas sujetas a evaluación.

3.4. Daños por frío

Se determinó solamente en los distintos tratamientos almacenados a 5 °C y a aquellos frutos de condición inicial del experimento a fin de tener una referencia, el método empleado fue el de Chaplin *et al.* (1982) mediante la extracción y medición de metabolitos solubles presentes en el mesocarpio de los frutos de aguacate, para lo cual se utilizó 1.0 g de muestra (pulpa de aguacate) a la cual se le adicionó 5 ml de una mezcla emulsificadora compuesta por: 10 partes de metanol concentrado (1.7 ml) + 9 partes de agua destilada (1.5 ml) + 10 partes de cloroformo (1.7 ml) en un mortero previamente congelado. Posteriormente se homogeneizó toda la muestra y se sometió a centrifugación (700 x g durante 15 minutos). Enseguida se filtro el sobrenadante con tela "magitel" y nuevamente fue sometido a centrifugación a 700 x g durante 15 minutos y por último se extrajo 1 ml de la capa superior correspondiente a la mezcla emulsificadora-extractora de cloroformo-metanol-agua y a la cual se le midió su densidad óptica en un espectrofotómetro marca Perkin Elmer a 340 nm.

3.5. Potencial de oscurecimiento y compuestos fenólicos

Se utilizó la técnica descrita por Kader y Chordas (1984) basada en la aplicación de catecol para valorar la actividad de la polifenoloxidasas y el contenido de compuestos fenólicos mediante el uso de nitrato de sodio, urea, ácido acético glacial e hidróxido de sodio en donde se estableció una escala cualitativa de 1 a 5 en donde: 1 representó el menor oscurecimiento o bien la menor actividad de la polifenoloxidasas y 5 el mayor oscurecimiento o bien la mayor actividad de la polifenoloxidasas. Posteriormente ambos valores (uno de la escala valorativa para la polifenoloxidasas y el otro de los compuestos fenólicos) fueron sumados, representando en conjunto el potencial de oscurecimiento considerando los compuestos fenólicos bajos si la suma es menor de dos, moderado si es de dos a cuatro, alto si se ubica de cinco a siete y muy alto si excede de siete.

3.6. Polifenoloxidasas (E.C.1.10.3.1)

La actividad de la polifenoloxidasas se determinó con la metodología propuesta por Jinwei y Paull (1997), para lo cual se extrajo 1 g de muestra, misma que se colocó en un mortero congelado a fin de ser molido y posteriormente se le agregaron 5 ml de buffer Tris-HCl 125 mM pH 7.0 con 1 % de polivinil pirridolina (PVP), 10 % de glicerina y 10 mM de ácido ascórbico. El extracto se centrifugó a 10 000 x g por 10 minutos a 4 °C, y el sobrenadante se utilizó para determinar la actividad de polifenoloxidasas. La actividad de esta enzima se midió por espectrofotometría como se indica a continuación; a 200 µl del sobrenadante se le adicionan 5 ml de 60 mM de catecol y se inicia la reacción; se tomó la lectura inicial (tiempo cero) y se calentó 5 minutos a 40 °C para enseguida tomar la lectura final. El cambio de absorbancia a 490 nm se registró en los 5 minutos siguientes. Por último se definió una unidad de la actividad de la enzima como un cambio de una unidad de absorbancia por peso por tiempo ($U \cdot g^{-1} PF \cdot min^{-1}$).

3.7. Fenoles totales

Esta determinación se realizó mediante el establecimiento de una curva estándar de ácido tánico (Figura 2), de acuerdo a lo descrito por la AOAC (1995).

Elaboración de la curva estándar.

- 1). Se disolvieron 25 mg de ácido tánico en 250 ml de agua desionizada.
- 2). Se pipetearon alícuotas de 0.1, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0, 7.0 ml en matraces volumétricos conteniendo 75 ml de agua desionizada.
- 3). Posteriormente se adicionaron 5 ml del reactivo de Folin-Ciocalteus y 10 ml de una solución de Na_2CO_3 al 20 % y se aforó.
- 4). Se mezcló perfectamente y se dejó desarrollar el color durante 2 horas tras lo cual se registró a 760 nm en un espectrofotómetro marca Perkin Elmer.

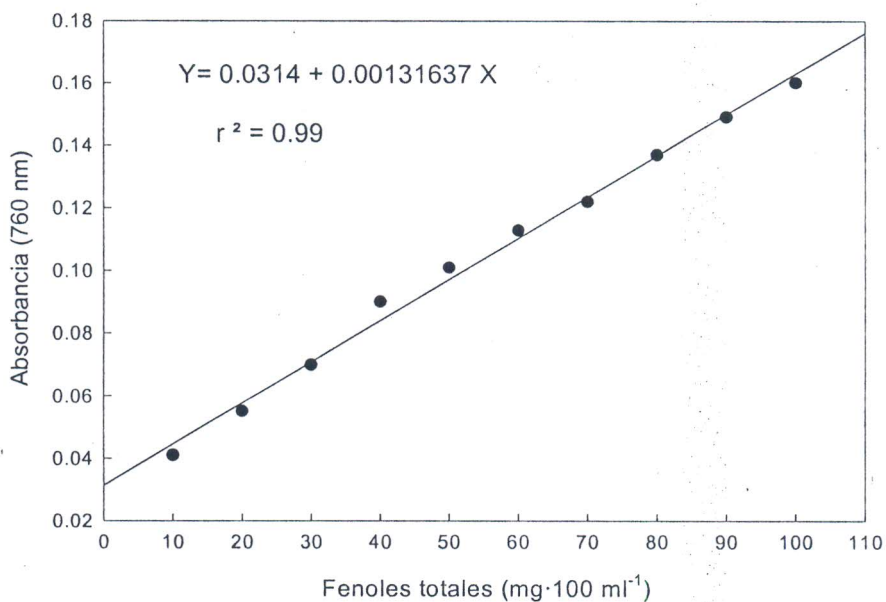


Figura 2. Curva tipo para determinar fenoles totales (ácido tánico).

Para las muestras se utilizó una solución de alcohol al 80 % y se siguió el método de Folin-Ciocalteus descrito por Waterman y Mole (1994).

- 1). Se adicionaron 200 μ l de la solución alcohol al 80 % + 12 ml de agua desionizada contenida en un tubo de ensaye.
- 2). Se agitó y se adiciono 1 ml de la solución Folin-Ciocalteus.
- 3). Se mezcló perfectamente y después de un periodo de 1-8 minutos se adicionaron 3 ml de la solución de carbonato de sodio al 20 % (tiempo cero).
- 4). Posteriormente se aforó con agua desionizada a 20 ml y se mezcló perfectamente.
- 5). Se dejó reposar 2 horas y se tomó la lectura a 760 nm en un espectrofotómetro marca Perkin Elmer.

3.8. Evaluación sensorial

La evaluación sensorial se efectuó desde el inicio y hasta el final del período de almacenamiento seleccionando los mejores tratamientos correspondientes con cada día de evaluación; se trabajó con un panel integrado por 5 jueces mismo que fue entrenado mediante el consumo de aguacate mínimamente procesado por 12 horas con la finalidad de llevar a cabo un Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA). Con los resultados obtenidos se realizó un análisis de varianza, en donde se evaluó la preferencia del producto por los consumidores (Meilgaard *et al.*, 1999).

4. Diseño experimental

Para el análisis estadístico del experimento se utilizó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial 2^3 , correspondiendo a dos temperaturas, dos películas plásticas y la aplicación o no de antioxidante. La unidad experimental consistió de una charola de aguacate mínimamente procesado con seis

rebanadas, utilizándose 4 repeticiones por tratamiento. Para el análisis de los datos se empleó el paquete de graficación SIGMAPLOT 2000 para Windows Versión 6.

4.1. Diseño experimental para las variables sensoriales

Para el análisis estadístico de los atributos generados en el QDA, se utilizó un diseño estadístico completamente aleatorizado con arreglo en bloques y para la interpretación estadística de los resultados se empleó el método no paramétrico de Friedman descrito por Meilgaard *et al.* (1999), utilizando el paquete SAS para Windows Versión 8.

5. Características de las películas plásticas empleadas

La película PLDL tiene una densidad de $0.908\text{--}0.909\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ y un grosor de $2.25\text{ }\mu\text{m}$ de espesor, presenta las siguientes características de barrera a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una atmósfera de presión:

- Al oxígeno: $500\text{ cm}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot 24\text{ h}^{-1}$
- Al dióxido de carbono: $2500\text{ cm}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot 24\text{ h}^{-1}$
- Al vapor de agua: $1.0\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot 24\text{ h}^{-1}$

Con esta película plástica se envolvió a las charolas de unicel (30 X 20 cm).

La película vacuum 300 marca registrada de un material de película comercial (bolsas para vacío) tiene una densidad de $0.965\text{--}1.100\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$; presenta una tri-capa, dos en la parte del frente, de $11.25\text{ }\mu\text{m}$ en el frente (parte transparente) unida a ella una segunda capa de $10\text{ }\mu\text{m}$ en el reverso y la tercer capa (parte dentada) $12.5\text{ }\mu\text{m}$, presenta las siguientes características de barrera a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$:

- Al oxígeno: $7.4 \times 10^{-4} \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot 24 \text{ h}^{-1}$
- Al dióxido de carbono: $1.53 \times 10^{-4} \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot 24 \text{ h}^{-1}$
- Al vapor de agua: $0.15 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 24 \text{ h}^{-1}$

Con esta película plástica se confeccionaron bolsas de tamaño comercial (25 X 20 cm) a las cuales se les aplicaba vacío en una maquina de vacío marca Food saver Vacum kitchen.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Experimento previo

1.1. Fase I. Inhibidores del oscurecimiento

En cuanto a los tratamientos térmicos aplicados, fue notable que por un lado pudo haberse inhibido el oscurecimiento pero por un lapso de tiempo muy corto y sobre todo a costa de las características sensoriales y nutricionales de la pulpa de aguacate. Económicamente es imposible competir con una técnica como ésta, a causa de las pérdidas resultantes. Entre algunos de los mecanismos involucrados en la pérdida de las características sensoriales del producto, se ubican la producción de sabor amargo en la pulpa a causa del calor, proceso que también ocasiona cambio de color en la pulpa y posteriormente se promueve el oscurecimiento no enzimático a causa del calor aplicado (Cuadro 7).

Cuadro 7. Efectividad del tratamiento térmico sobre la inhibición del oscurecimiento

Tratamiento	Observaciones
75 °C durante 3 minutos	Sin importar las condiciones de frigoconservación y a causa del severo tratamiento térmico, se observó oscurecimiento en todo el fruto a las 2 horas de encontrarse en condiciones de frigoconservación, afectándose notablemente la apariencia del fruto y sobre todo sus características sensoriales, haciéndose evidente un sabor amargo en la pulpa.
40 °C durante 30 minutos	De igual forma, sin importar las condiciones de almacenamiento, las características sensoriales de estos frutos fueron muy poco aceptables, todavía con presencia de sabor amargo en la pulpa y la apariencia poco atractiva (color verde). Se observó oscurecimiento a partir de las 3 horas de encontrarse en refrigeración.
Frutos rebanados y sin la aplicación de tratamiento térmico (testigo)	El sabor fue mejor que en los casos anteriores y en cuanto al color había notable oscurecimiento más o menos distribuidos en la pulpa, apareciendo alrededor de las 3 horas, con la diferencia de que las características sensoriales fueron aceptables comparativamente con los tratamientos térmicos, aunque todavía no se observó diferencias sensoriales con respecto a las temperaturas de almacenamiento.

Con relación al tratamiento químico, observamos que la mezcla tres compuesta por 1 % de pirofosfato tetrasódico + 0.2 % de cisteína (Dorantes-Álvarez *et al.*, 1998), son notablemente interesantes; resulta que la pulpa de aguacate se conserva con buena textura (firme), un color atractivo pero en cuanto a las características sensoriales es un producto que no puede ser consumido debido al olor peculiar a azufre, eso sin mencionar que el pH de la solución de antioxidantes (5.5) fue logrado con la adición de HCl. Así pues, la combinación de antioxidantes que mejor funcionó correspondió a 300 mg·litro⁻¹ de β-tocoferol + 200 mg·litro⁻¹ de ácido L-ascórbico + 200 mg·litro⁻¹ de butilhidroxitolueno, en tanto que se propone incrementar las concentraciones a fin de obtener mejores resultados. En cuanto a las temperaturas, cuando más cercanas a la temperatura ambiente, hay una disminución en el periodo sin oscurecimiento; con lo que se propone trabajar con las temperaturas de 2 y 5 °C, sin dejar de lado a la temperatura ambiente (testigo) (Cuadro 8).

Cuadro 8. Efectividad del tratamiento químico sobre la inhibición del oscurecimiento

Tratamiento	Observaciones
Mezcla (uno): ácido cítrico + eritorbato tetrasódico y almacenamiento a 2 °C	Obscurecimiento transcurridas 16 horas de almacenamiento
Mezcla (uno): ácido cítrico + eritorbato tetrasódico y almacenamiento a 3 °C	Obscurecimiento transcurridas 14 horas de almacenamiento
Mezcla (uno): ácido cítrico + eritorbato tetrasódico y almacenamiento a 5 °C	Obscurecimiento transcurridas 15 horas de almacenamiento
Mezcla (uno): ácido cítrico + eritorbato tetrasódico y almacenamiento a 7 °C	Obscurecimiento transcurridas 16 horas de almacenamiento
Mezcla (uno): ácido cítrico + eritorbato tetrasódico y almacenamiento a 10 °C	Obscurecimiento transcurridas 12 horas de almacenamiento
Mezcla (uno): ácido cítrico + eritorbato tetrasódico y almacenamiento a 20 °C (testigo)	Obscurecimiento transcurridas 1 hora
Mezcla (dos): tocoferol + BHT + ácido ascórbico y almacenamiento a 2 °C	Obscurecimiento transcurridas 24 horas de almacenamiento
Mezcla (dos): tocoferol + BHT + ácido ascórbico y almacenamiento a 3 °C	Obscurecimiento transcurridas 25 horas de almacenamiento
Mezcla (dos): tocoferol + BHT + ácido ascórbico y almacenamiento a 5 °C	Obscurecimiento transcurridas 19 horas de almacenamiento
Mezcla (dos): tocoferol + BHT + ácido ascórbico y almacenamiento a 7 °C	Obscurecimiento transcurridas 19 horas de almacenamiento
Mezcla (dos): tocoferol + BHT + ácido ascórbico y almacenamiento a 10 °C	Obscurecimiento transcurridas 15 horas de almacenamiento
Mezcla (dos): tocoferol + BHT + ácido ascórbico y almacenamiento a 20 °C (testigo)	Obscurecimiento transcurridas 2 horas
Mezcla (tres): pirofosfato tetrasódico + cisteína y almacenamiento a 2 °C	Obscurecimiento transcurridas 15 horas
Mezcla (tres): pirofosfato tetrasódico + cisteína y almacenamiento a 3 °C	Obscurecimiento transcurridas 48 horas
Mezcla (tres): pirofosfato tetrasódico + cisteína y almacenamiento a 5 °C	Obscurecimiento transcurridas 72 horas
Mezcla (tres): pirofosfato tetrasódico + cisteína y almacenamiento a 7 °C	Obscurecimiento transcurridas 30 horas
Mezcla (tres): pirofosfato tetrasódico + cisteína y almacenamiento a 10 °C	Obscurecimiento transcurridas 35 horas
Mezcla (tres): pirofosfato tetrasódico + cisteína y almacenamiento a 20 °C (testigo)	Obscurecimiento transcurridas 3 horas

1.2. Fase II. Concentración óptima de antioxidantes y temperatura de almacenamiento

Para esta fase, se contempló como aceptable hasta un 50 % de oscurecimiento en todas las rebanadas de que conformaron el tratamiento, considerando que tales condiciones en el producto hacen posible su comercialización.

La concentración dos, la cual consistió de $600 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de β -tocoferol + $800 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de ácido L-ascórbico + $400 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de butilhidroxi-tolueno, generó los mejores resultados en cuanto al mantenimiento de las características sensoriales del aguacate.

Con respecto a la temperatura, los efectos pudieron apreciarse claramente, con lo que el almacenamiento a 5°C , resultó ser la más adecuada ya que el aguacate mínimamente procesado se conservó hasta con un 30 % de oscurecimiento visible, con respecto a 2 y 3°C , mismas que mostraron ser muy severas para la pulpa de aguacate, mientras que las demás temperaturas de almacenamiento (7 y 10°C), resultaron ser demasiado elevadas ocasionando un excesivo incremento en la perecibilidad del aguacate mínimamente procesado, aún cuando Liu (1992), señaló que para frutos subtropicales y tropicales enteros o intactos, las temperaturas de almacenamiento idóneas se ubican entre 10 y 12°C .

De manera complementaria, se realizaron pruebas en torno al pH óptimo de la mezcla correspondiente a $600 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de β -tocoferol + $800 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de ácido L-ascórbico + $400 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de butilhidroxi-tolueno; básicamente debido a que la polifenoloxidasas presenta un pH óptimo alrededor de 5.9-6.3 (Kader y Chordas, 1984). Posteriormente y teniendo la concentración de antioxidantes que indujo mejores resultados, a la par de la temperatura (5°C), se determinó el pH al cual se observaría aún más claro este efecto, probando con 4 charolas por pH (3.5,

4.5, 5.5 y 7.0) llegando a la conclusión de que para la mezcla que se había venido trabajando el pH óptimo fue de 7.0 (Cuadro 9).

Cuadro 9. Concentración óptima de antioxidantes

Tratamiento	Observaciones
Concentración uno a 2 °C	Al segundo día, se terminó el experimento y se observó obscurecimiento en un 60 %
Concentración uno a 3 °C	Al cuarto día, se terminó el experimento y se observó obscurecimiento en un 60 %
Concentración uno a 5 °C	Al segundo día, se terminó el experimento y se observó obscurecimiento en un 60 %
Concentración dos a 2 °C	Al quinto día se terminó el experimento dado que se evaluó un 50 % de obscurecimiento
Concentración dos a 3 °C	Al cuarto día, se terminó el experimento y se observó obscurecimiento en un 50 %
Concentración dos a 5 °C	Al cuarto día, se terminó el experimento y se observó obscurecimiento en un 65 %

1.3. Fase III. Selección de envase para atmósfera modificada

Cuadro 10. Atmósferas modificadas para aguacate mínimamente procesado

Película plástica	Comentarios
Poliolefina (PLF)	A partir del tercer día, se observó obscurecimiento así como fuerte presencia de haces vasculares lignificados; fue hasta el quinto día en que se percibieron olores desagradables al momento de abrir el empaque.
Polipropil	A partir del cuarto día se observó presencia inicial de lignificación de los haces vasculares.
Polietileno de baja densidad lineal (PLDL)	Al quinto día, se observó una textura más firme que la inicial y la presencia inicial de haces vasculares lignificados.
Cloruro de polivinilo (PVC)	A partir del segundo día, se observó que esta película ocasionó una condición alarmante de anaerobiosis.
Vacum 300 (con vacío aplicado)	Al quinto día, se observó que este tratamiento es el que se encuentra con las mejores características sensoriales.

Por lo anteriormente expuesto y como resultado de este experimento previo, el grueso de la investigación se realizó en los siguientes términos.

El tratamiento más eficaz en la inhibición del oscurecimiento, resultó ser el químico, mediante el sometimiento de las rebanadas de aguacate mínimamente procesado a una inmersión de 10 minutos en una solución compuesta por 600 mg·litro⁻¹ de β -tocoferol + 800 mg·litro⁻¹ de ácido L-ascórbico + 400 mg·litro⁻¹ de butilhidroxi-tolueno por litro de solución preparada a pH 7.0; en tanto que para el empacado de las mismas se utilizó polietileno de baja densidad lineal (PLDL) y vacuum 300 (bolsas con vacío) almacenadas a 5 y 20 °C.

2. Pérdida fisiológica de peso (% PFP)

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos que emplearon la película vacuum 300 almacenados durante 13 días a temperatura ambiente y en los almacenados a 5 °C. Sin embargo si los comparamos con los tratamientos establecidos con la película PLDL presentaron la menor cantidad de pérdidas de peso, no observándose un efecto marcado por la temperatura si no más bien por el vacío aplicado, hecho que concuerda con lo mencionado por Jamieson (1980) quien indica que los efectos del vacío como un tipo particular de atmósfera modificada son muy variadas; por ejemplo disminuye el metabolismo respiratorio y la pérdida fisiológica de peso (PFP), controla la oxidación, la síntesis y la acción del etileno así como la pérdida de vitaminas, patógenos, insectos, desórdenes fisiológicos, la maduración y senescencia en tejidos vegetales además de mantener la calidad y una mayor vida postcosecha (Figura 3).

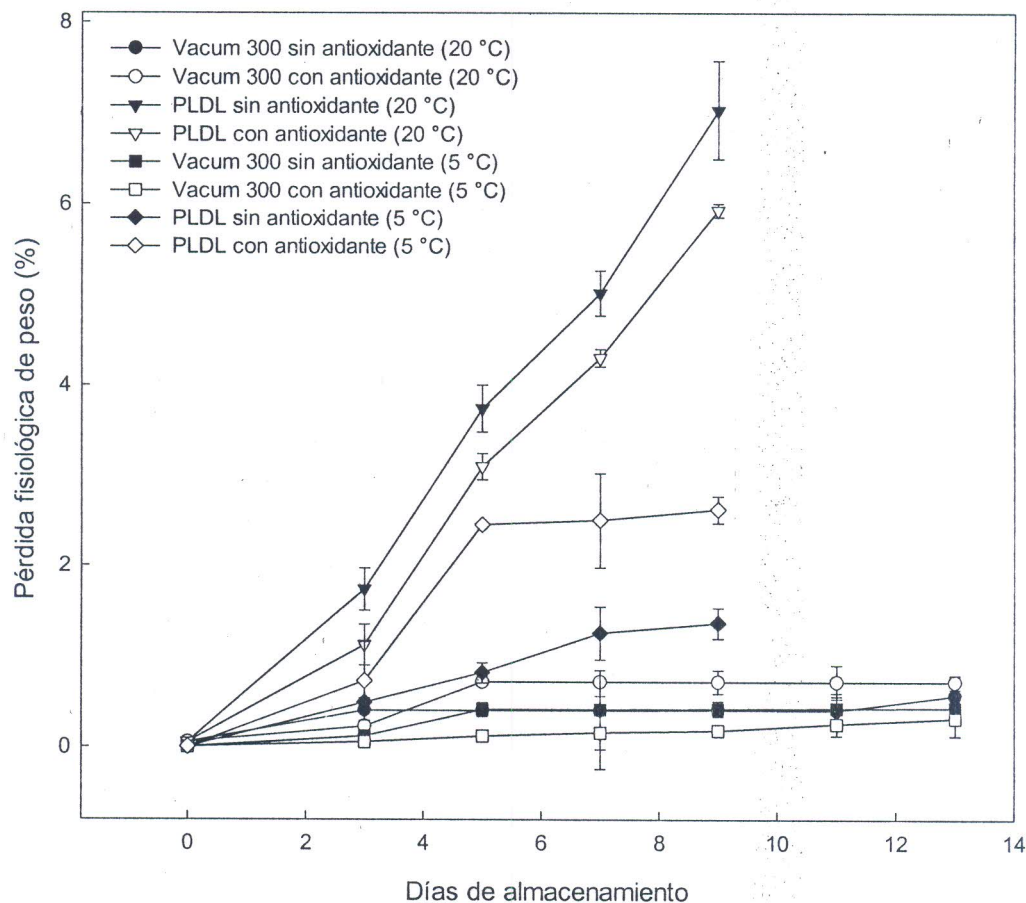


Figura 3. Pérdida fisiológica de peso en aguacate mínimamente procesado almacenado a diferentes temperaturas y películas plásticas. Medias $\pm$ error estándar.

A diferencia de los tratamientos con vacío, en el uso de películas plásticas PLDL (polietileno de baja densidad lineal) la temperatura fue el factor principal que influyó en el comportamiento de las pérdidas fisiológicas de peso (PFP) manifestándose mayor PFP a mayor temperatura empleada, hecho observado el día nueve de almacenamiento a 20 °C con el tratamiento de PLDL sin antioxidante que registró un 7.03 % de PFP. Efecto que puede ser explicado por lo encontrado por Beaudry *et al.* (1992), quienes estudiaron el efecto de la

temperatura y presión parcial de O_2 sobre la respiración y pérdidas de peso en zarzamora mínimamente procesada en empaque de polietileno de baja densidad, encontrando que a mayor temperatura hubo un incremento de la respiración y la pérdida de peso. Resultados similares fueron encontrados por Morales-Castro *et al.* (1994), quienes estudiaron el efecto de distintas temperaturas y diferentes concentraciones de O_2 y CO_2 sobre la respiración de elote mínimamente procesado y encontraron que la velocidad de respiración se duplicó al incrementar la temperatura en $10\text{ }^{\circ}C$. Esto se explica por el factor Q_{10} que representa el efecto de la temperatura sobre las reacciones biológicas implicadas en el proceso de respiración incrementando su velocidad de 2 a 3 veces por un aumento de $10\text{ }^{\circ}C$ en la temperatura (Zagory *et al.*, 1988). Además con respecto a las características de la película PLDL (polietileno de baja densidad lineal), la velocidad de permeancia de los gases a través de la película dependen de su naturaleza química y de las condiciones de temperatura y de humedad relativa en las que se encuentre (Day, 1988), aunque Lunt *et al.* (1981) señalaron que las emulsiones de polietileno han llegado a ser importantes en el almacenamiento de los frutos de aguacate (enteros) porque reducen las pérdidas de humedad, retrasan la maduración y mejoran la apariencia del fruto al tiempo que las PFP son también reducidas.

Por último al considerar la magnitud de las PFP, éstas resultan ser considerables si al final del periodo de almacenamiento son transformadas a toneladas, por lo que el mejor tratamiento fue en el que se utilizó vacum 300 con antioxidante almacenado durante trece días a $5\text{ }^{\circ}C$ con 0.3 % de PFP (Figura 3).

3. Color

En el presente trabajo se pudo observar que el cambio de color medido por el ángulo Hue (θ) presentó tendencias decrecientes con respecto al valor inicial ($\theta = 134.44$) en especial en aquellos tratamientos almacenados a $20\text{ }^{\circ}C$ mismos que no mostraron diferencias significativas (Figura 4). En este sentido los

tratamientos de PLDL (polietileno de baja densidad lineal) con antioxidante y vacum 300 con antioxidante almacenados durante nueve días a 20 °C presentaron un cambio del valor inicial a $\theta = 71.05$ y 69.96, respectivamente, siendo el mejor tratamiento el de PLDL sin antioxidante almacenado a 20 °C con $\theta = 114.53$; en tanto que para el día trece al igual que en el caso anterior no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos, pudiendo concluir que no existe efecto entre las películas, por lo que éstas no intervienen ya sea aumentando o disminuyendo los valores obtenidos en el ángulo Hue (color).

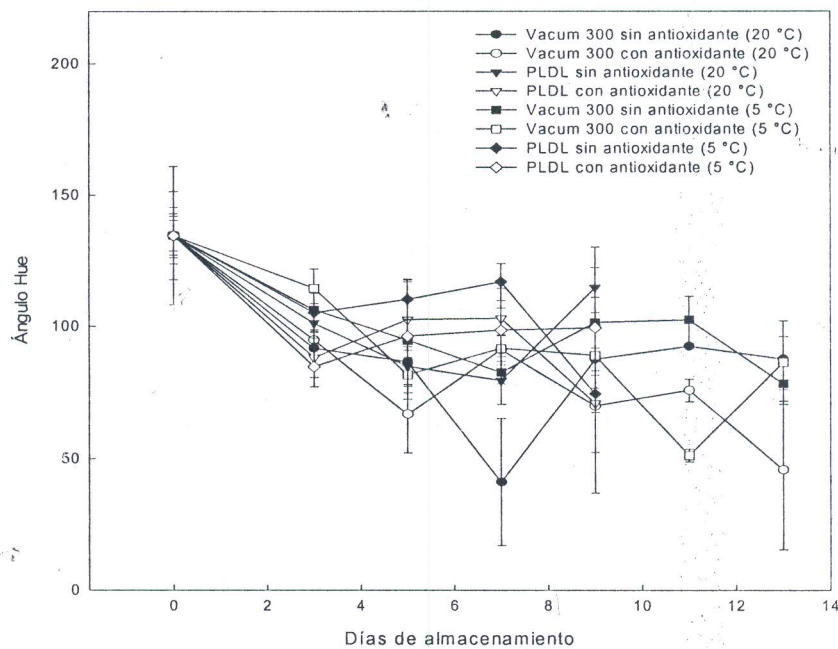


Figura 4. Cambios en el ángulo Hue en aguacate mínimamente procesado almacenado a diferentes temperaturas y películas plásticas. Medias $\pm$ error estándar.

Con la finalidad de ubicar de mejor manera el θ , a continuación, se presenta en la Figura 5 una representación del ángulo Hue basado en los parámetros del diagrama Hunter a, b y en donde el punto P_y (localizado con a y b) se encuentra en coordenadas rectangulares.

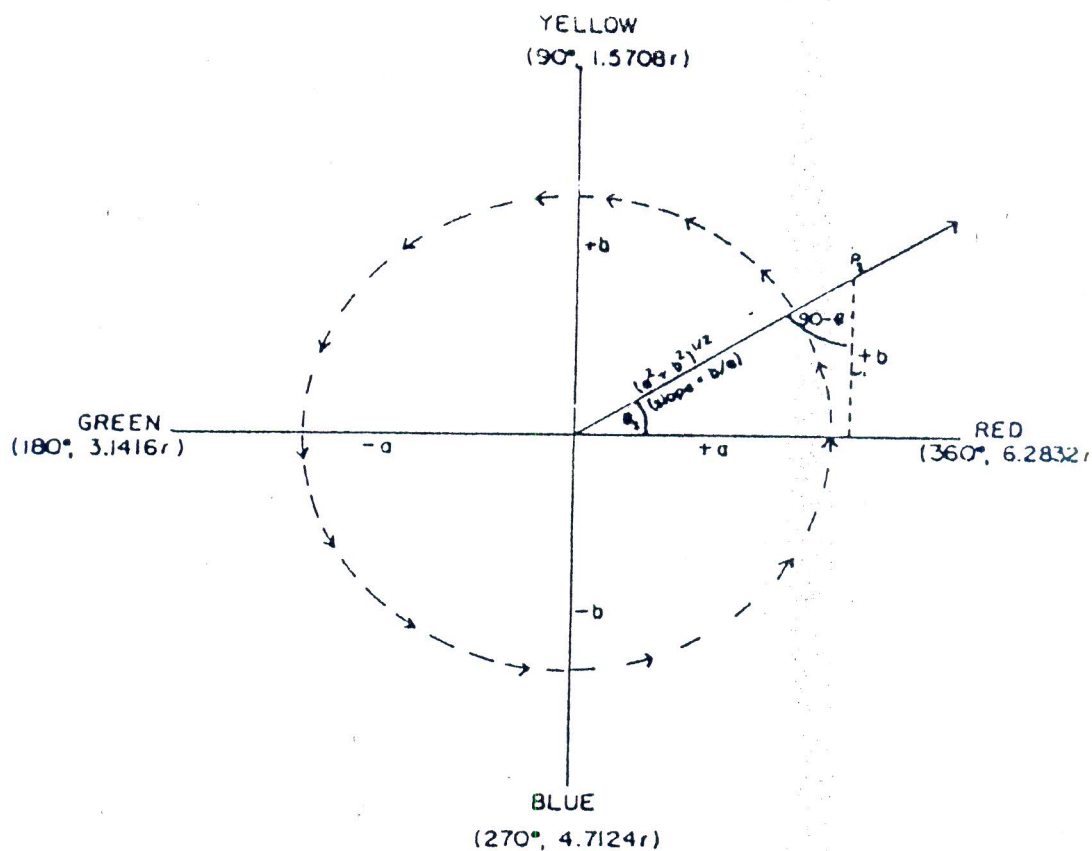


Figura 5. Representación del ángulo Hue

Una vez que se conoce el color del aguacate mínimamente procesado mediante el ángulo Hue, es conveniente observar la pureza de los colores obtenidos (a mayor índice de saturación o chroma mayor pureza), por lo que con respecto a la condición inicial del índice de saturación (28.92), se encontraron diferencias significativas en los tratamientos almacenados durante nueve días a 20 °C, siendo el tratamiento de vacum 300 sin antioxidante el mejor de los tratamientos y PLDL (polietileno de baja densidad lineal) con antioxidante el peor de ellos con 44.04 y 5.25 de índice de saturación, respectivamente.

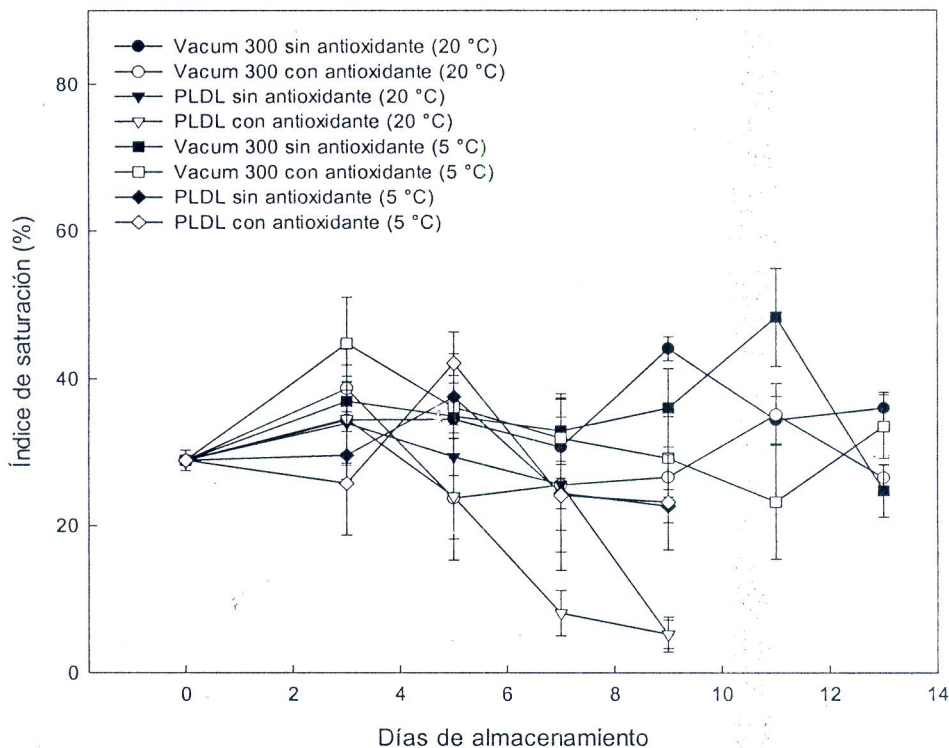


Figura 6. Cambios en el índice de saturación en aguacate mínimamente procesado almacenado a diferentes temperaturas y películas plásticas. Medias $\pm$ error estándar.

Para el día trece de almacenamiento se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de vacío, siendo vacum 300 sin antioxidante a 20 °C y vacum 300 con antioxidante a 5 °C los mejores tratamientos con 36.06 y 33.57 de índice de saturación, respectivamente, lo que indica que la película para vacío proporcionó mayor pureza del color del aguacate mínimamente procesado a lo largo del período de almacenamiento, lo que contribuye a mantener un color y apariencia agradables para el consumidor (Figura 6).

Por último y para el valor "L", se encontraron diferencias significativas con respecto al valor inicial (53.8733 %) entre los tratamientos de PLDL (polietileno

de baja densidad lineal) sin y con antioxidante almacenados durante nueve días a 20 °C con 29.68 y 43.57 % respectivamente, siendo el tratamiento de PLDL sin antioxidante el peor tratamiento mientras que el mejor tratamiento de esa evaluación fue vacuum 300 sin antioxidante también a 20 °C con 67.01 % de luminosidad.

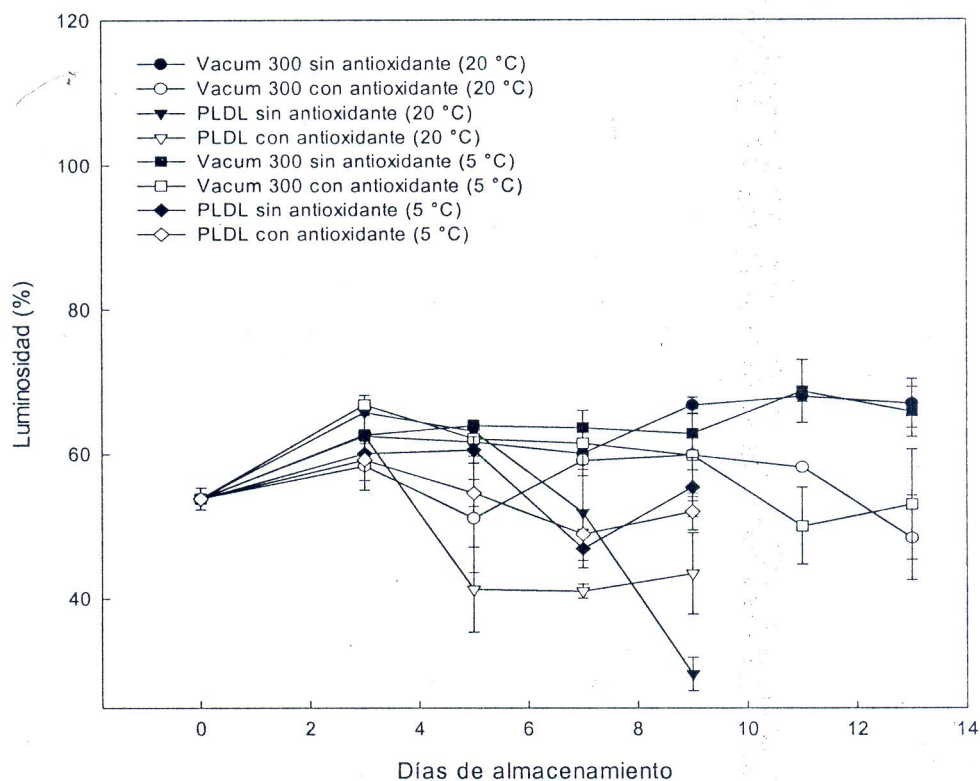


Figura 7. Cambios en la luminosidad en aguacate mínimamente procesado almacenado a diferentes temperaturas y películas plásticas. Medias $\pm$ error estándar.

Mientras tanto a los trece días de almacenamiento para la película vacuum 300, se observó efecto del antioxidante sobre la brillantez encontrando diferencias significativas entre los tratamientos, siendo los mejores el de vacuum 300 sin antioxidante a 20 °C y 5 °C con 67.01 y 65.87 % respectivamente, lo cual indica que al adicionar antioxidante a nuestro aguacate mínimamente procesado se ve

incrementado su brillo con lo que el producto se conservó durante el período de almacenamiento (13 días) con las mismas características (Figura 7).

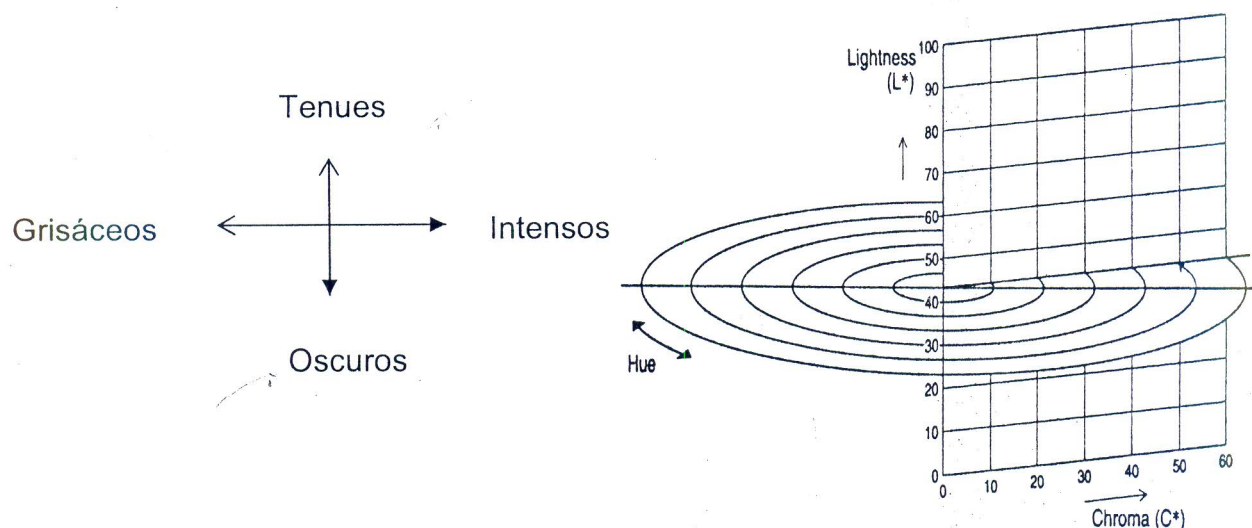


Figura 8. Diagrama de brillo “L” versus cromaticidad

Con relación al color, en el presente trabajo se pudo observar que las coordenadas de cromaticidad CIE (índice de saturación y brillantez) (Figura 8), ubican al estado inicial del aguacate mínimamente procesado con un color amarillo muy claro. Para la película PLDL (polietileno de baja densidad lineal) sin y con antioxidante a 20 °C con un color amarillo muy grisáceo y para PLDL sin y con antioxidante a 5 °C con un color amarillo grisáceo. Para los frutos con la película vacuum 300 sin antioxidante a 20 °C y 5 °C, amarillo claro y para vacuum 300 con antioxidante a 20 °C y 5 °C un color amarillo intenso.

4. Firmeza

La textura es una de las principales características que toma en cuenta el consumidor para aceptar un producto alimenticio. Es por ello que la textura requiere de mediciones exactas; ya que en un momento dado pueden servir de

base para establecer métodos satisfactorios para cosechar, procesar y vender productos. En este trabajo se observó diferencia significativa entre los tratamientos que emplearon la película PLDL (polietileno de baja densidad lineal) almacenados durante nueve días a 5 y 20 °C, incrementando su firmeza inicial (3.70 N). Los tratamientos a 5 °C sin y con antioxidantes pasaron a 5.27 y 5.30 N respectivamente, siendo estos los mejores tratamientos para esta fecha de observación; mientras que en los tratamientos a temperatura ambiente los valores de firmeza fueron de 4.52 y 4.60 N, sin embargo si los comparamos con los tratamientos establecidos con la película vacum 300, que presentaron un decremento en la firmeza con respecto al estado inicial, observándose un efecto marcado por la temperatura. Según Ben-Yehoshua (1987), lo que origina tal incremento en la firmeza es la resistencia natural del fruto después de sufrir algún tipo de daño mecánico, es decir destina la suficiente energía para protegerse formando nuevamente una cutícula o peridermis a fin de evitar la excesiva transpiración. Siempre algunas operaciones unitarias como el pelado y cortado o troceado resultan en la reducción o eliminación de las barreras que evitan la transpiración, ya que al reducir el tejido protector (cáscara) se incrementa el área de contacto con la atmósfera circundante con lo que se aumenta la pérdida de agua y la subsecuente formación de la nueva capa protectora (peridermis) que generalmente es ligeramente gruesa y con la firmeza suficiente para evitar mayor daño al fruto. La formación de esta capa depende de las condiciones de la atmósfera circundante y, más específicamente de la humedad y temperatura que predomine, de tal forma que la velocidad de formación de ésta se acelera cuando existen condiciones de frigoconservación que en general y dependiendo en particular del fruto inducen una parcial deshidratación en la superficie dañada del fruto (Gorny *et al.*, 2000).

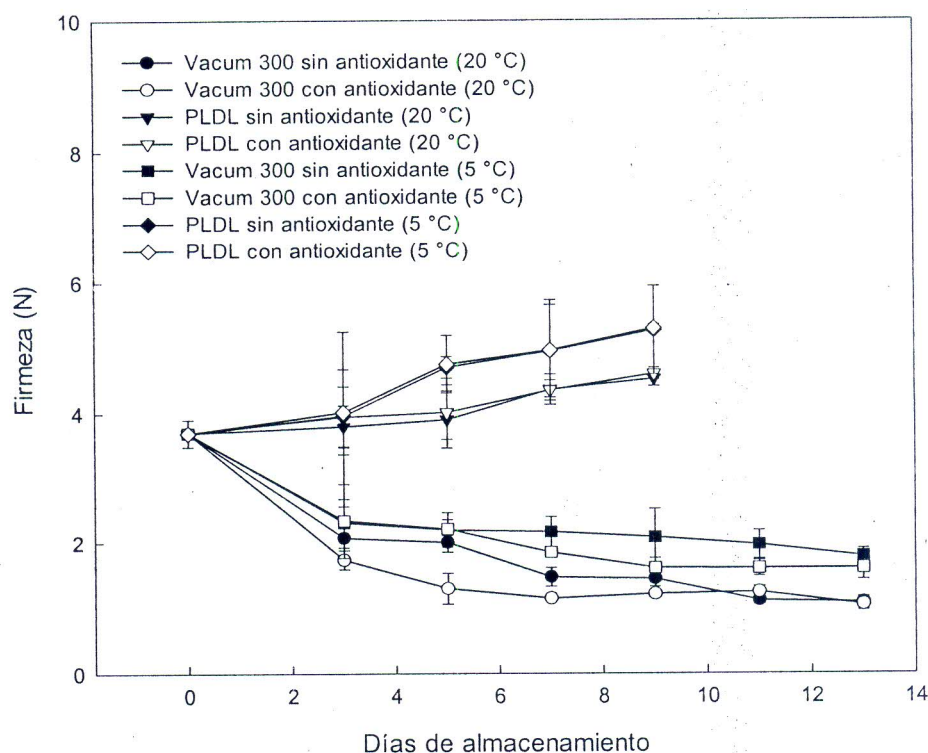


Figura 9. Cambios en la firmeza en aguacate mínimamente procesado almacenado a diferentes temperaturas y películas plásticas. Medias $\pm$ error estándar.

A diferencia de los tratamientos con PLDL (polietileno de baja densidad lineal), el uso de vacío evidenció diferencias significativas con tendencias decrecientes en la firmeza, de esta manera para el día trece de almacenamiento a 5 °C los tratamientos de vacum 300 sin y con antioxidante fueron los mejores tratamientos (Figura 9), con una firmeza de 1.78 y 1.60 N mientras que a 20 °C los tratamientos vacum sin y con antioxidante presentaron los valores de firmeza más bajos, siendo 1.07 y 1.03 N respectivamente; mismos que son debidos según Pantastico (1984) al hecho de que el comportamiento de la cinética de acción de las enzimas que intervienen en el proceso de maduración-senescencia, ya que es dependiente de la temperatura. Se sabe que cada

enzima tiene su temperatura óptima para su actividad máxima. Por lo tanto, se espera que a una temperatura dada ciertas enzimas se activen, mientras que otras quedan inoperantes; aunque Rosen y Kader (1989) señalan que la disminución en la textura se da en ciertos casos por el propio empaque en atmósferas modificadas, dependiendo del fruto y el cultivar. Sin embargo, la razón principal que se considera en la disminución de firmeza en el aguacate mínimamente procesado es el hecho de que al momento de generar el vacío, el cual se realizó con una máquina doméstica para tal fin (vacum kitchen foodsaver) no se contó con la oportunidad de detener el proceso de extracción de aire a conveniencia, es decir parar la extracción del aire contenido en el interior de la bolsa en el momento adecuado a fin de evitar ejercer acción mecánica sobre las rebanadas de aguacate mínimamente procesado, sino mas bien el proceso de vacío se realizó por completo automáticamente por la máquina, ya que por las características de la máquina no se contaba con un sensor para interrumpir el citado proceso.

5. Daños por frío

La vida postcosecha de frutos de aguacate así como del aguacate mínimamente procesado pueden extenderse por refrigeración. Sin embargo, es común con las especies de origen tropical y subtropical, que el uso de las bajas temperaturas de almacenamiento conduzca a un desorden fisiológico conocido como daño por frío, el cual se manifiesta de acuerdo con la severidad de la temperatura y el tiempo de exposición (Golan *et al.*, 1977).

El valor inicial de los frutos de referencia considerado como "normal" ó "sin daño por frío" a 340 nm fue de 1.10 (absorbancia) en este trabajo. Tlapa-Rangel (1999) reportó valores de absorbancia para 'Hass' de 1.08 para el testigo la cual consideró como lectura de los frutos sanos y valores de 1.48 de absorbancia a los 20 días de almacenamiento a 4 °C y de 1.37 de absorbancia a 2 °C, durante el mismo periodo de tiempo, aunque no encontró diferencias entre temperaturas

afirmando que a mayor periodo de frigoconservación, mayor incidencia de daños por frío; hecho contrastante con lo encontrado en el tratamiento de PLDL (polietileno de baja densidad lineal) sin antioxidante almacenado durante nueve días a 5 °C, en donde se encontró diferencia significativa, con una absorbancia de 2.64, lo que indicó ser el tratamiento más susceptible al daño por frío, mientras que el mejor tratamiento fue el de vacum 300 con antioxidante con una absorbancia de 1.11. Es decir que fue el tratamiento que presentó el menor daño por frío y en ambos tratamientos se presentó el efecto de la atmósfera modificada.

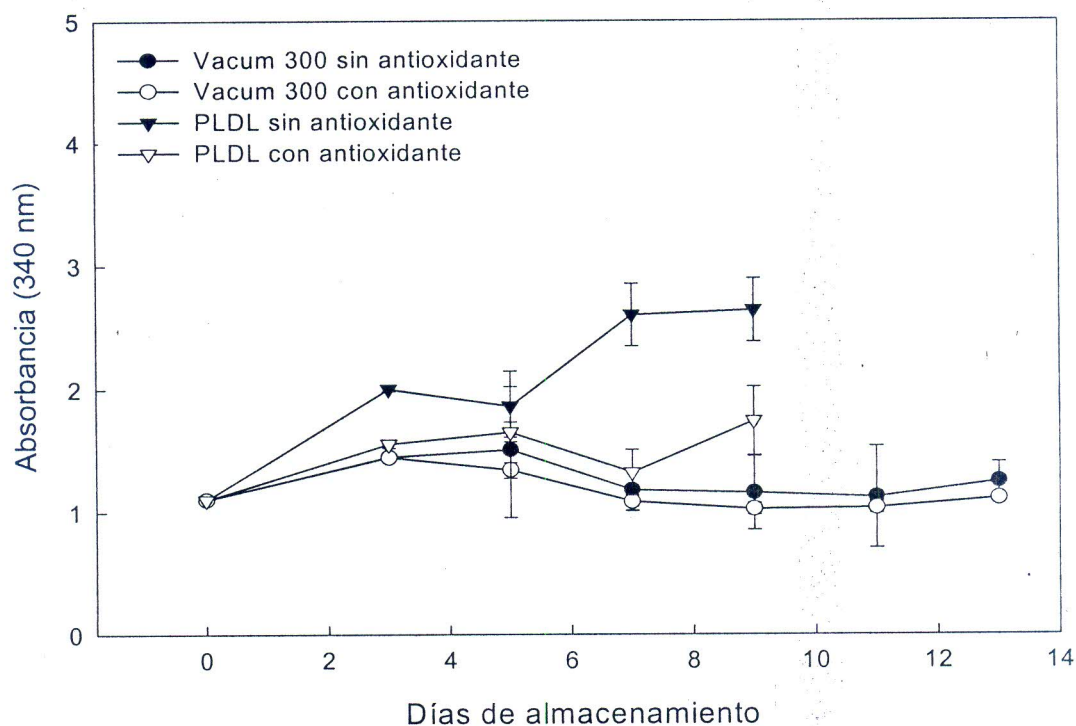


Figura 10. Incidencia de daños por frío (340 nm) en aguacate mínimamente procesado almacenado con diferentes películas plásticas a 5 °C. Medias $\pm$ error estándar.

Especialmente en el caso de los tratamientos de la película PLDL las expectativas eran mayores, es decir se esperaban valores poco mayores de absorbancia, que reflejan el desorden causado por la temperatura empleada en la frigoconservación (5 °C) ya que el aguacate es un producto altamente perecedero al igual que otros frutos y hortalizas, sobre todo si consideramos la susceptibilidad natural de los frutos subtropicales y tropicales; de esta manera se esperaba algo similar a lo que menciona Wang (1982), quien señaló que en frutos con daño por frío uno de los principales eventos asociados son la pérdida de integridad de membranas (originado por el cambio de fase de los lípidos), el escape de solutos y pérdida de compartimentalización intracelular. Mientras tanto para los tratamientos almacenados durante trece días a 5 °C no se encontró diferencia pero en cambio el efecto de las películas plásticas con las cuales se crearon las atmósferas modificadas fue más evidente, observando que se presentó mayor incidencia de daños por frío en los tratamientos que emplearon la película PLDL con respecto a los que emplearon la película vacum 300, en donde no se observó efecto a causa del periodo de almacenamiento. El mejor tratamiento fue el de vacum 300 sin antioxidante con una absorbancia de 1.25, seguido de vacum 300 con antioxidante con una absorbancia de 1.11, observando los valores bajos de absorbancia es probable que el método de Chaplin *et al.* (1982) esté midiendo algún otro factor que podría estar relacionado con el ablandamiento de los frutos, o bien, con la senescencia, puesto que aún, en los frutos señalados como testigos, mas bien los frutos de la condición inicial, se obtuvo un valor de absorbancia mayor a cero y prácticamente similar a los obtenidos en el tratamiento de vacum 300, todo como resultado de alteraciones en la membrana, lo que a su vez origina cambios físicos en el citoplasma, en la ciclosis, producción de etileno, en la producción y utilización de energía, así como en las actividades enzimáticas y en consecuencia, en el metabolismo de muchos compuestos, y en la acumulación anormal de varias sustancias (Chaplin *et al.*, 1982) (Figura 10).

6. Potencial de oscurecimiento y compuestos fenólicos

Los daños mecánicos que sufre el fruto y el etileno estimulan el metabolismo de los fenoles en el tejido mínimamente procesado. El etileno induce la actividad de la enzima fenilalaninamonialiasa (PAL) misma que induce la biosíntesis de los fenoles, los cuales al acumularse pueden ser utilizados como sustratos de la polifenoloxidasas. Este potencial depende de la suma del total de valores de los compuestos fenólicos y los niveles de actividad de la polifenoloxidasas.

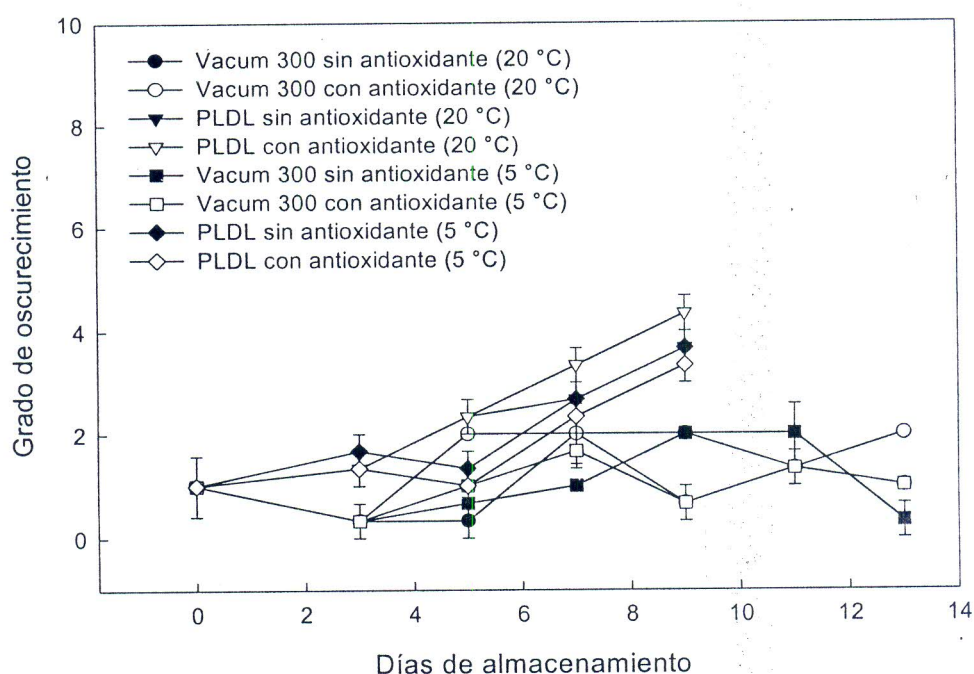


Figura 11. Potencial de oscurecimiento y compuestos fenólicos en aguacate mínimamente procesado almacenado a diferentes temperaturas y películas plásticas. Medias $\pm$ error estándar.

Se encontró diferencia entre tratamientos al analizar los datos del potencial de oscurecimiento del aguacate mínimamente procesado (Figura 11), siendo el tratamiento de vacum 300 sin antioxidante almacenado durante trece días a 5

°C con un potencial de 0.33; siendo un potencial bajo (Kader y Chordas, 1984); contrario a lo que ocurre con la película PLDL (polietileno de baja densidad lineal), en donde el potencial es prácticamente el doble en el día nueve comparativamente con los tratamientos de vacío. Los tratamientos con el PLDL no mostraron diferencias excepto el de la película vacum 300 con antioxidante almacenada durante nueve días a 5 °C, el cual fue el mejor tratamiento con un potencial de 0.67, el cual se ubica como bajo. En ambos casos, es decir en los distintos tratamientos con vacum 300 y PLDL, los potenciales de oscurecimiento aún y cuando son bajos, es evidente que existen daños en el tejido, que permiten el acceso a los compuestos fenólicos, rompiéndose la departamentalización de la enzima y el sustrato, generando gran cantidad de reacciones en el oscurecimiento. Estas reacciones incluyen la oxidación de compuestos fenólicos para formar quinonas, las cuales son altamente inestables y se polimerizan rápidamente para formar un teñido-oscuro, la velocidad de oscurecimiento puede estar relacionada con el fenol presente en la fruta, puesto que Knapp (1965), demostró que hay diferentes reacciones según el sustrato que esté presente; en cuanto a las fuentes que favorecen el potencial de oscurecimiento, Golan *et al.* (1977 y 1978), encontraron que los cultivares de aguacate difirieron en su grado de oscurecimiento. Estos autores concluyeron que tanto un contenido alto de polifenoloxidasas así como de fenoles totales contribuyen al potencial de oscurecimiento de la pulpa de cv. Fuerte, comparado con el cv. Lerman. Encontrando que el potencial de oscurecimiento es dependiente de lo largo del período de almacenamiento, después de la cosecha.

En este sentido Lelyveld *et al.* (1984a), encontró con ayuda de análisis bioquímicos, que el almacenamiento en frío o el daño por frío no son la causa de liberación de polifenoloxidasas, sugiriendo que los síntomas de oscurecimiento de la pulpa en aguacate pueden ser más bien, causados por anaerobiosis de la fruta durante el almacenamiento; lo cual también se menciona en el trabajo de Swarts (1984); además se sabe que para que se presente el oscurecimiento de la pulpa deben de estar presentes dos cosas: la

enzima activa (polifenoloxidasas) y los sustratos, o sea los fenoles, los cuales pueden estar o no presentes en un momento dado, y aún estando presentes localizarse en las vacuolas y no estar en contacto con la enzima hasta que avanza el proceso de maduración-senescencia, cuando se altera la permeabilidad de las membranas.

7. Actividad de la polifenoloxidasas (E.C.1.10.3.1)

Uno de los principales problemas en la preservación de los mínimos procesados lo constituye el oscurecimiento enzimático catalizado por la polifenoloxidasas. La actividad de esta enzima en el aguacate mínimamente procesado almacenado en películas vacum 300, fue menor que en los tratamientos con PLDL (polietileno de baja densidad lineal). Encontrando diferencia significativa entre los tratamientos sobre la actividad de la enzima, siendo los tratamientos de vacum 300 sin y con antioxidante almacenados durante nueve días a 5 °C con 723.55 y 577.84 U·g⁻¹·min⁻¹, los que presentaron menos actividad de la enzima; comparativamente con los tratamientos de la película PLDL (polietileno de baja densidad lineal), en donde los niveles de actividad de la enzima fueron muy superiores, interviene el hecho de que a medida en que el aguacate mínimamente procesado se encuentra expuesto a temperaturas moderadas (7-9 °C) durante más tiempo, se ablanda con mayor rapidez (Pantastico, 1984), además de que se ha propuesto que la actividad de la polifenoloxidasas se encuentra íntimamente relacionada con el daño físico ocurrido por la exposición a bajas temperaturas, causando el desorden celular, lo que conlleva a la unión entre la polifenoloxidasas y el sustrato (fenoles) ocasionando la degradación de compuestos fenólicos, lo cual es un síntoma de este tipo de estrés (Underhill, 1992) (Figura 12).

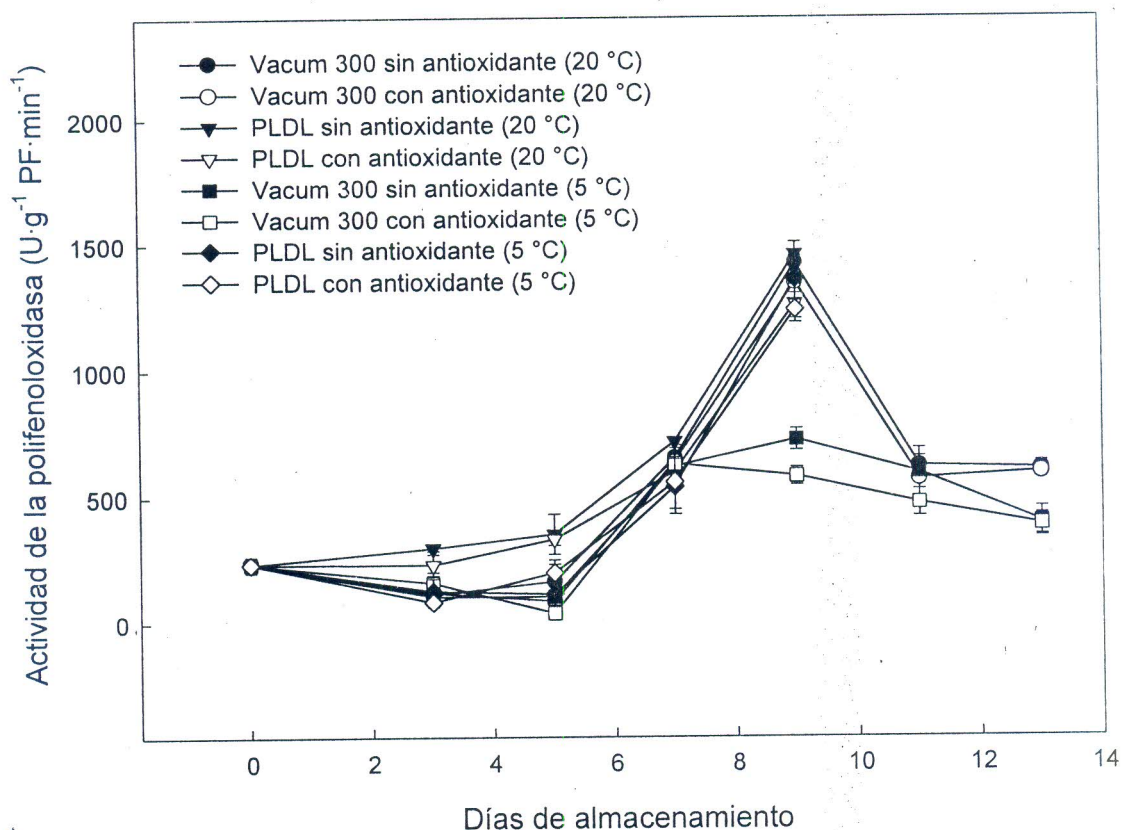


Figura 12. Actividad de la polifenoloxidasas en aguacate mínimamente procesado almacenado a diferentes temperaturas y películas plásticas. Medias $\pm$ error estándar.

En cuanto a los tratamientos de vacío que se almacenaron trece días, existe diferencia significativa entre los tratamientos al tiempo en que se hizo evidente el efecto de la temperatura sobre la actividad de la polifenoloxidasas, de manera que los mejores tratamientos, que registraron la menor actividad de la enzima son el de vacum 300 sin y con antioxidante almacenados a 5 °C con 396.21 y 386.23 $\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Lelyveld *et al.* (1984b), encontraron que el oscurecimiento de la pulpa de aguacate está asociado con el incremento de la actividad de polifenoloxidasas y peroxidasa, no cambiando las concentraciones de fenoles y

de fenilalaninamonialasa. Los resultados obtenidos en su trabajo sugieren que el almacenamiento a bajas temperaturas predispone el oscurecimiento del mesocarpio y que éste se da después por condiciones de anaerobiosis (Figura 12).

8. Fenoles totales

No se encontró diferencia entre los tratamientos de PLDL (polietileno de baja densidad lineal) y vacum 300 tanto a 5 °C como a 20 °C, aunque a los nueve días de almacenamiento los tratamientos con PLDL mostraron una tendencia ligeramente ascendente, mientras que los tratamientos con vacum 300 prácticamente no tuvieron cambios siendo muy constantes, debido a que la tendencia a disminuir el contenido de los fenoles durante el proceso de maduración-senescencia fue similar a lo reportado por Martínez (1998) quien encontró altos contenidos de fenoles en la madurez fisiológica, mismos que se redujeron en la madurez de consumo en más del 50 %, continuando con la misma tendencia conforme se acerca la senescencia.

La presencia de fenoles es una característica de todos los tejidos vegetales y aún cuando es el fenol el compuesto básico, la mayoría de estos compuestos son polifenoles, mismos que contribuyen al sabor, aroma y color de los alimentos. Los fenoles en general se oxidan fácilmente, y aunque esto sucede con una mayor velocidad en los mínimos procesados, en este trabajo solamente se observaron haces vasculares lignificados y no en cambio el oscurecimiento de las rebanadas de aguacate y/o resaltando su accionar como tanino hidrolizable (ácido tánico), provocando cambios en el sabor de las rebanadas de aguacate, al reaccionar éstos con las proteínas salivares y las glucoproteínas de la boca, provocando un efecto astringente (Piñol *et al.*, 2000) (Figura 13).

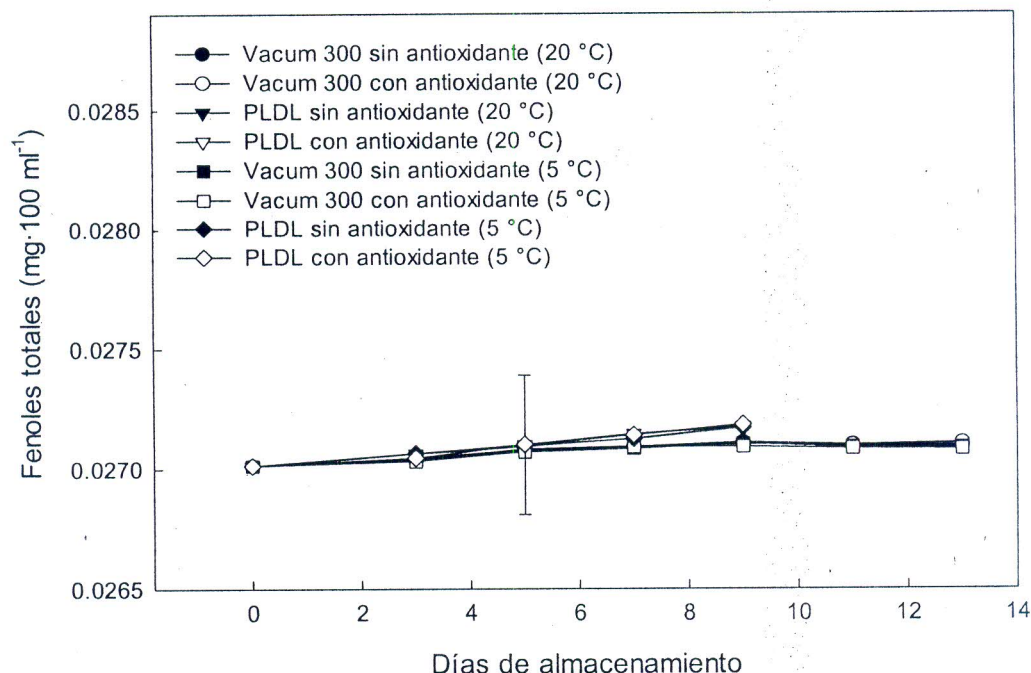


Figura 13. Fenoles totales en aguacate mínimamente procesado almacenado a diferentes temperaturas y películas plásticas. Medias $\pm$ error estándar.

Podemos concluir de los resultados obtenidos en relación a la cantidad de fenoles encontrados en las rebanas de aguacate mínimamente procesado, que son de poca relevancia en torno a la oxidación de la pulpa y más aún, en torno a la modificación del sabor (Figura 13).

9. Evaluación sensorial

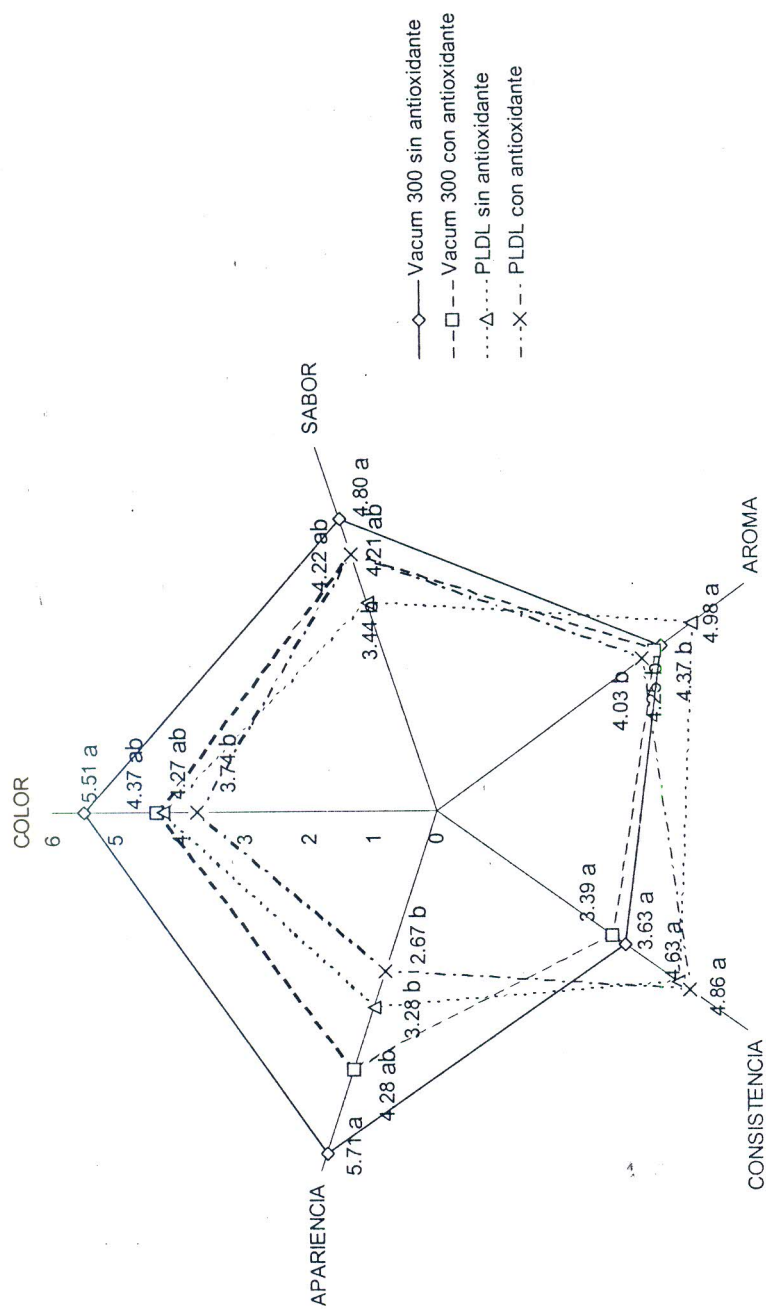
El estudio de factores como color, sabor, apariencia, aroma y consistencia al paladar, son difíciles de medir debido a su complejidad y a la poca información que existe sobre el tema, comparado con otras pruebas de la química de los alimentos, por lo que se puede recurrir a pruebas sensoriales.

El color es muy importante, ya que es el primer contacto que se tiene con los alimentos; en efecto, el consumidor los juzga primeramente por su apariencia, ya que cada producto tiene un color característico por el cual el consumidor los identifica. Un segundo contacto que tiene el consumidor con el alimento es el sabor y consistencia; estas son sensaciones muy complejas y difíciles de evaluar por análisis químico, y constituyen una de las principales razones por las cuales se disfruta un alimento.

Es evidente la importancia que tiene el recurrir a este tipo de pruebas sensoriales, ya que el hombre ha desarrollado una serie de gustos, mediante los cuales acepta o rechaza un producto y que no pueden ser detectados por alguna prueba química. Debido a lo anteriormente mencionado, se consideró de gran importancia incluir una prueba sensorial que identificará la preferencia del consumidor por un tratamiento especial. De esta manera y para los tratamientos almacenados a 20 °C (Figura 14), encontramos diferencia significativa en los atributos color, apariencia y sabor, siendo el tratamiento con vacum 300 sin antioxidante el que presentó las mejores características en estos atributos, es decir, que fue el tratamiento que tuvo más aceptación por parte de los consumidores; así mismo no se encontró diferencia significativa en el atributo consistencia, mientras que para el atributo aroma, el mejor tratamiento fue el de PLDL (polietileno de baja densidad lineal) sin antioxidante; así pues de los tratamientos aplicados a temperatura ambiente el mejor fue vacum 300 sin antioxidante. De todos los tratamientos almacenados a 5 °C (Figura 15), sobresalieron los tratamientos con vacum 300 sin y con antioxidante, con los que se obtuvieron mejores características en los atributos color y apariencia; en cuanto a consistencia y aroma no se encontró diferencia significativa y en el atributo sabor el mejor tratamiento fue el de vacum 300 sin antioxidante, con lo que a esta temperatura de almacenamiento, los tratamientos que tuvieron mayor aceptación por parte de los consumidores fueron los de vacum 300 sin y con antioxidante, respecto a los tratamientos de PLDL.

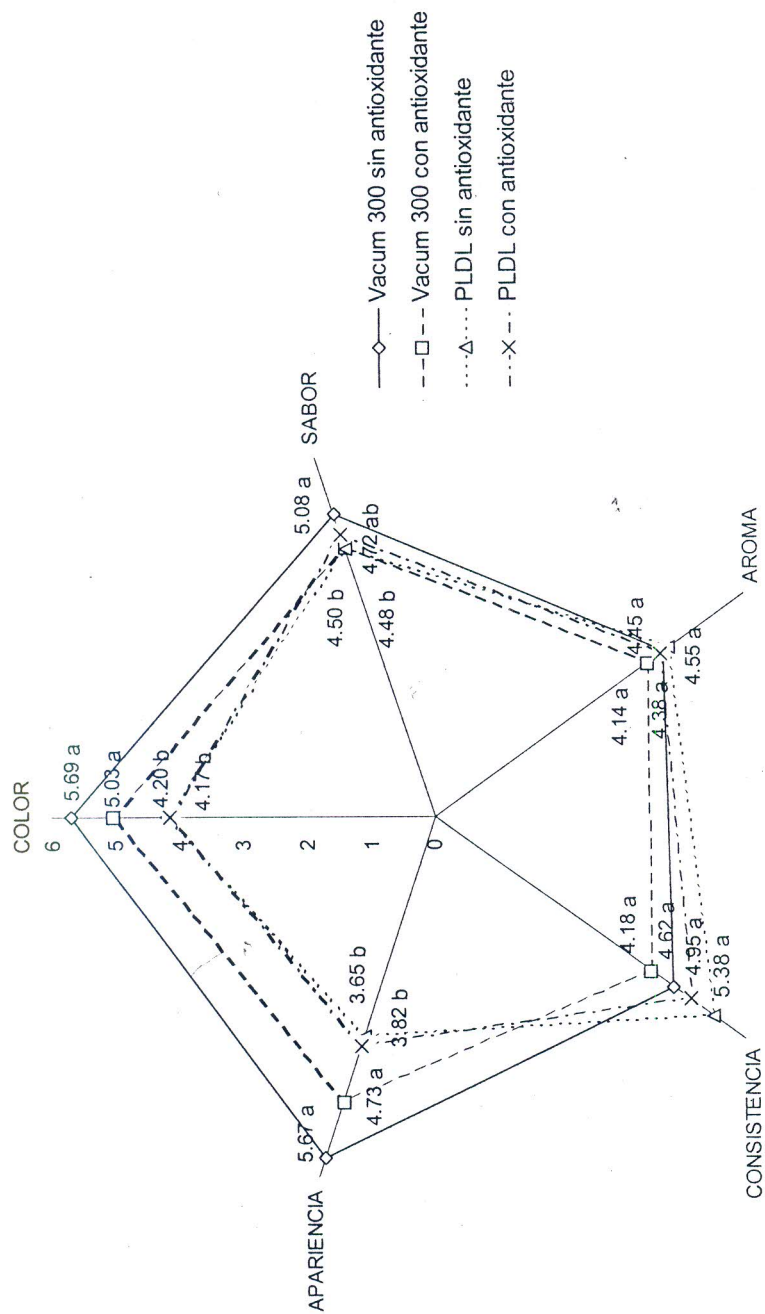
Dentro de la variable sensorial "apariencia" tanto a 5 °C como a 20 °C en todos los tratamientos de la película PLDL (polietileno de baja densidad lineal) se presentaron cambios a partir del día cinco en que hubo incidencia de hongos filamentosos entre los cuales se observó a *Penicillium* spp. En tanto que para la temperatura de 5 °C (PLDL) esta incidencia se presentó en el día siete con el mismo hongo. A temperatura ambiente y para la película PLDL, se continuó con esta contaminación observándose a los hongos *Aspergillus* spp. y *Rhizopus* spp., los cuales se desarrollaron completamente al día 9 a tal grado que obstaculizaban las determinaciones normales como color, firmeza, enzimas, evaluación sensorial, etc.. En los demás tratamientos con la película PLDL (5 °C) de igual forma se desarrollaron los mismos hongos y aún cuando para el día 9 la contaminación no fuese tan abundante como en el caso de los tratamientos establecidos a temperatura ambiente, se procedió a eliminar la mitad del experimento, con lo que en las demás fechas de observación (días 11 y 13) se evaluaron solamente los tratamientos de la película vacum 300.

De esta manera, podemos concluir en este apartado, que los mejores tratamientos, es decir aquellos que tuvieron la mayor aceptación por parte de los consumidores, fueron los de vacum 300 sin y con antioxidante almacenados a 5 °C.



Medias con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Friedman ($\alpha = 0.05$).

Figura 14. Atributos sensoriales de aguacate mínimamente procesado almacenado con diferentes películas plásticas a 20 °C.



Medias con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Friedman ($\alpha = 0.05$).

Figura 15. Atributos sensoriales de aguacate mínimamente procesado almacenado con diferentes películas plásticas a 5 °C.

V. CONCLUSIONES

1). La película para vacío (vacum 300) combinada con una temperatura de 5 °C y una mezcla de antioxidantes (600 mg·litro⁻¹ de β-tocoferol, 800 mg·litro⁻¹ de ácido L-ascórbico y 400 mg·litro⁻¹ de butilhidroxi-tolueno a pH 7.0) tuvo la capacidad de mantener características sensoriales aceptables (color y apariencia) en las rebanadas de aguacate mínimamente procesado almacenado durante 13 días, preservando e incrementando el color característico de la pulpa del aguacate al final del período de almacenamiento con respecto al estado inicial.

2). El tratamiento de vacum 300 con antioxidante almacenado durante 13 días a 5 °C, redujo notablemente la pérdida fisiológica de peso (PFP), aminoró los efectos de los daños por frío y disminuyó considerablemente la actividad de la enzima polifenoloxidasas (E.C.1.10.3.1).

3). La actividad de la polifenoloxidasas superó en importancia a la incidencia de los fenoles totales, afectando directamente y en distintos grados a los tratamientos estudiados mediante la manifestación de daños visuales como el manchado de la pulpa, oscurecimiento y endurecimiento de los haces vasculares.

VI. LITERATURA CITADA

Anderson, B. 2000. A History of the packing industry on the central coast. Coastal Grower, Summer Issue. N.Y. USA. pp. 18-23. 150 p.

Anónimo. 1989. Guidelines for the development, production, distribution and handling of refrigerated foods. Washington, DC: National Food Processors Association. pp. 63.

Anónimo. 1984. Tabla de composición de alimentos bolivianos. Edit. Dirección Nacional de Nutrición (M.P.S.S.F.). 85 p.

Anonimo. 1992. Code of Federal Regulations, Food and Drugs. Office of the federal register national archives and records administration. Washington, DC. USA. pp. 170-199.

Anzaldúa, M.A. 1994. La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la Teoría y la Práctica. Ed. ACRIBIA. Zaragoza, España. pp. 5-120.

AOAC. 1995. Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemist 13 ed. Vol. II Food composition; Additives; natural contaminants. Washington, D.C. M.S.A. 315 p.

Awad, M.; Young, R.E. 1979. Postharvest variation in celulase, polygalacturonase and pectinmethylesterase in avocados (*Persea americana* Mill. cv. Fuerte) fruits in relation to respiration and ethylene production. Plant Physiol. 64: 74-79.

Ayala-Aceves, A. 1998. Datos curiosos sobre el aguacate. Boletín informativo el aguacatero de la Asociación Agrícola Local de Productores de Aguacate de Uruapan, Michoacán (APROAM) 1 (5): 10.

Bates, R.P. 1970. Heat-induced off-flavor on avocado fresh. J. Food Sci. 35 (4): 478-482.

Bauernfeind, J.C.; Pinkert, D.M. 1970. Food processing with added ascorbic acid. Adv. Food Res. 18: 220-315.

Beauchat, L.R.; Golden, D.A. 1989. Antimicrobials occurring naturally in foods. Food Technol. 43(1): 134-142.

Beaudry, R.; Cameron, A.; Shirazi, A.; Dostal-Lange, D. 1992. Modified-atmosphere packaging of blueberry fruit: effect of temperature on package O₂ y CO₂. J. Am. Soc. Hort. Sci. 117: 436-441.

Ben-Yehoshua, S. 1987. Transpiration, water stress and gas exchange, pp. 113-170. *In: Postharvest Physiology of Vegetables*. J. Weichmann, Marcel Dekker, Inc.(ed.). New York, USA.

Biale, J.B.; Young, R.E. 1971. The avocado pear, pp. 58-60. *In: The Biochemistry of Fruits and Theirs Products*. Hulme A.C. (ed.). A. Academic Press. N.Y. USA.

Blankeship, S. M. (ed.). 1985. Controlled atmosphere for storage and transport of perishable agricultural commodities. Dept. Hort.Sci., North Carolina State Univ. Hort. Rept. No. 126.512pp.

Bower, J.P.; Cutting, J.G. 1988. Avocado fruit development and ripening physiology. Horticultural Reviews 10: 229-271.

Cajuste-Bontemps, J.; Saucedo-Veloz C. 1993. Efecto de la época de corte en la calidad y resistencia a daño por frío en aguacate cv. Hass, pp. 97. *In: Memorias del Quinto Congreso Nacional de Horticultura. 18 al 23 de Julio de 1993. Veracruz, Ver., México.*

Cajuste-Bontemps, J.; Saucedo-Veloz C.; Colinas-León, M. 1993. Comportamiento postcosecha de fruto de aguacate en función a la época de corte, pp. 92. *In: Quinto Congreso Nacional de Horticultura. 18 al 23 de Julio de 1993. Veracruz, Ver., México.*

Cantwell, M. 1992. Postharvest handling systems: Minimally processed fruits and vegetables, pp. 277-281. *In: Kader A.A. Postharvest Technology Horticultural Crops. Division of Agriculture and Natural Resources Publication, Oakland, California. USA.*

Cantwell, M. 1996. Fresh cut biology and requirements en fresh-cut products: Maintaining quality and safety. UC Davis Postharvest Hort. Series No. 10. 70 p.

Carballo, P.M.S.; Schaffeld, G.G. 1983. Formulación de un producto de pasta de aguacate. *Alimentos* 8(4): 9-14.

Chaplin, G.R.; Wills, R.B.M.; Graham, D. 1982. Objective measurement of chilling injury in the mesocarp of stored avocados. *Hort. Science* 17: 238-239.

Colinas-León, M.T. 1992. Desórdenes fisiológicos de productos hortícolas, pp. 65-72. *In: Fisiología y Tecnología Postcosecha de Productos Hortícolas. Yahia, E.M.; Higuera C. I. (eds.). Ed. Limusa. México.*

Corrales-García, J.E. 1991. Experiencias y problemática de la industrialización del aguacate, pp. 64-74. *In*: Memorias del Seminario Internacional del Aguacate (postcosecha y comercialización). 1 al 4 de Agosto de 1990. FIRA. Uruápan, Michoacán., México.

Corrales-García, J.E. 1995. Respuesta fisiológica de frutos de aguacate a la frigoconservación en atmósferas controladas. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Montecillo, México. pp. 45-74.

Corrales-García, J.E.; Chávez-Franco, S. 1980. Estudio de la conservación de pulpa de aguacate (*Persea americana* Mill.). Tesis de Ingeniero Agrónomo especialista en Industrias Agrícolas. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México pp. 8-77.

Cort, W.M. 1982. Antioxidant properties of ascorbic acid in foods, pp. 10-25. *In*: Chemistry Ascorbic acid chemistry, metabolism and uses. Seib P. A. y Tolbert B. M. (eds.). Ed. American Society Chemistry. Washington, D.C. USA. Series, No. 200.

Day, B. 1988. Optimization of parameters for modified atmosphere packaging of fresh fruit and vegetables, pp. 31. *In*: Fourth International Conference on Controlled/Modified Atmosphere Vacuum Packaging. January. San Francisco, CA. USA.

De Grammont, H.C.; Gómez-Cruz, M.A.; González, H.; Rindermann, S.R. 1999. Agricultura de exportación en tiempos de globalización. Edit. Red de Investigaciones Socioeconómicas en Hortalizas, Frutas y Flores, Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agricultura y la Agroindustria Mexicana (CIESTAAM), Instituto de Investigaciones Sociales, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS) y Juan Pablos S.A. México. pp. 50-82.

Díaz, S.A. 1989. Exportación de aguacate y otros frutales: El objetivo. *Frutícola* (2)3:1.

Dorantes-Álvarez, L.; Parada-Dorantes, L.; Ortiz-Moreno, A.; Santiago-Pineda, T.; Chiralt-Boix, A.; Barbosa-Cánovas, G. 1998. Effect of anti-browning compounds on the quality of minimally processed avocados. *Food Science and Technology*. 4: 107-113.

Dziezak, J.D. 1986. Preservative systems in foods, antioxidants and anti-microbial agents. *Food Technol.* 40(9): 94-136.

Eaks, L.I. 1990. Sistemas de manejo postcosecha y fisiología del aguacate. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA) en el Banco de México (BM). *Boletín informativo* 22(220). pp. 11-23.

Fintrac Inc. and U. S. Department of Agriculture. 2002. Postharvest handling of avocados. <http://www.marketag.com/ma/bulletins/ph/avoc.stm>.

Flexible Packaging Association (FPA). 2000. State of the Industry Report. Business and Economic Research Division of the FPA, Washington, D.C. USA. 60 p.

Franco, G.L. 1991. Tabéela de composicao quimica dos alimentos. Edit. Athenaeum. Río de Janeiro, Brasil. 80 p.

Gerdes, D.L.; Parrino-Lowe, V. 1995. Modified Atmosphere Packaging (MAP) of Fuerte avocados halves. Food Science and Technology, Lebensmittel-Wissenschaft and Technol. 28: 12-16.

Gil, M.I.; Gorny, J.R.; Kader, A.A. 1998. Responses of 'Fuji' apple slices to ascorbic acid treatments and low-oxygen atmospheres. Hort. Science 33:305-309.

Golan, A.; Kahn, V.; Sadouski, A.Y. 1977. Relationship between the Fuerte and Lerman cultivars. J. Agric. Food Chem. 25: 1253-1260.

Golan, A.; Kahn, V.; Sadouski, A.Y. 1978. Evaluation of browning potential in avocado mesocarp. J. Food Sci. 43: 853-855.

Gorny, J.R.; Gil, M.I.; Kader, A.A. 1998a. Postharvest physiology and quality maintenance of fresh-cut pears. Acta Hort. 464: 231-236.

Gorny, J.R.; Pierce, B.H.; Kader, A.A. 1998b. Effects of fruit ripeness and storage temperature on the deterioration rate of fresh-cut peach and nectarine slices. Hort. Science 33: 110-113.

Gorny, J.R.; Pierce, B.H.; Kader, A.A. 1999. Postharvest physiology and quality maintenance of fresh-cut nectarines and peaches. Acta Hort. 485: 173-179.

Gorny, J.R.; Cifuentes, R.A.; Hess-Pierce, B.; Kader, A.A. 2000. Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by cultivar, ripeness stage, fruit size and storage regime. J. Food Sci. 65: 541-544.

Gowen, P.L. 1928. Effect on quality of holding shelled peas. Canner 66: 112-115.

Greengras, J. 1995. Films para envasado en atmósfera modificada. Ediciones A. Madrid Vicente. Madrid, España. 280 p.

Hardenburg, R. E.; Watada, A.E.; Wang, C.Y. 1986. The commercial storage of fruits, vegetables and florist and nursery stocks. US Dept. of Agric. (USDA). Agriculture Handbook No. 66. 130 pp.

Harel, E.; Mayer, A.M.; Shain, Y. 1964. Catechol oxidases from apples, their properties, subcellular location and inhibition. *Physiol. Plant* 17: 921-930.

Hildebrand, D.F. 1989. Lipoxygenases. *Physiol. Plant* 76: 249-253.

Hoffman, N.E.; Yang, S.F. 1980. Changes of l-aminocyclopropane-1-carboxylic acid content in ripening fruits in relation to their ethylene production rates. *Scientia Horticulturae* 92(2): 113-123.

Hong, J.H.; Gross, K.C. 1998. Surface sterilization of whole tomato fruit with sodium hypochlorite influences subsequent postharvest behavior of fresh-cut slices. *Postharvest Biol. and Technology* 13: 51-58.

Hulme, A.C. 1971. The biochemistry of fruit and their products. Academic Press. New York and London Vol. II. pp. 1-63.

Institute of Food Technologists (IFT). 1991. Food Packaging, Food Protection and the Environment: A Workshop Report. Chicago, IL. USA. 40 p.

Institute of Food Technologists (IFT). 1981. Sensory evaluation guide for testing food and beverage products. A Workshop Report. Chicago, IL. USA. 35 p.

Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP / INCNND). 1964 y 1991. Tabla de composición de alimentos para uso en América Latina. Panamá. 110 p.

Instituto Nacional de Nutrición (I.N.N.) Dr. Salvador Zubirán. 1991. Tabla de composición química de alimentos. México. 75 p.

International Fresh-cut Produce Association (IFPA) y the Produce Marketing Association (PMA). 1999. Handling Guidelines for the Fresh-cut Produce Industry. 3rd edition. IFPA, Alexandria, VA. pp. 5-7.

International Fresh-cut Produce Association (IFPA). 2000. Fresh-cut Produce: Get the Facts. Fact sheet published by the association on their web site www.fresh-cuts.org. Alexandria, VA.

Jamieson, W. 1980. Use of hypobaric conditions for refrigeration storage of meats, fruits and vegetables. Food Technol. March pp. 64-71.

Jay, J.M. 1986a. Intrinsic and extrinsic parameters of foods that affect microbial growth, pp. 40-47. *In: Modern Food Microbiology*. Van Nostrand Reinhold (ed.). CAB International Publishing. N.Y. USA.

Jay, J.M. 1986b. Food preservation with chemicals, pp. 259-296. *In: Modern Food Microbiology*. Van Nostrand Reinhold (ed.). CAB International Publishing. N.Y. USA.

Jellineck, G. 1990. Sensory Evaluation of Foods. Ellis Horwood Pub. Florida, USA. 176 p.

Jinwei, D.; Paull, R.E. 1997. Comparison of leaf susceptibility to enzymatic blackening in Protean necrophilia R.Br. Leucosperson "Rachel". Postharvest Biology and Tech. 11: 101-106.

Kader, A.A. 1983. Postharvest quality maintenance of fruits and vegetables in developing countries, pp. 455-469. *In*: Lieberman M. Postharvest Physiology and Crop Preservation. Div. Of Agr. and Nat. Res. University of Calif. USA.

Kader, A.A.; Chordas, A. 1984. Evaluating the browning potential of peaches. California Agriculture 14: 3-4.

Kader, A.A. 1980. Prevention of ripening o fruit by use of controlled atmospheres. Food Technol. 34(3): 51-54.

Kader, A.A. 1985. Modified atmosphere and low - pressure system during transport and storage, pp. 58-64. *In*: Kader, A.A.; Kasmire, R.F.; Mitchell, G.; Reid, U.U.; Sommer, N.F.; Thompson, J.F. (eds.). Postharvest Technology of Horticultural Crops. Div. Of Agr. and Nat. Res. University of Calif. USA.

Kader, A.A. 1999. Fruit maturity, ripening, and quality relationships. Acta Horticulturae 485: 203-213.

Kader, A.A.; Arpaia, M. Lu. 1992. Postharvest handling systems, subtropical fruits, pp. 233-240. *In*: Postharvest technology of horticultural crops. Kader A. A. (ed.). University of Calif. USA.

Kader, A.A.; Arpaia, M. Lu. 2000. Aguacate. Recomendaciones para mantener la calidad postcosecha. Department of Pomology, University of California, Davis, CA. USA. Postharvest Technology Research and Information Center. <http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/espanol/Aguacate.html>.

Kader, A.A.; Zagory, D.; Kerbel, E.L. 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 28: 1-30.

Ke, D; Sinobas, R.L.; Kader, A.A. 1991. Physiology and prediction of fruit tolerance to low - oxygen atmospheres. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116(2): 253-260.

Kester, J.J.; Fennema, O.R. 1986. Edible films and coatings: a review. *Food Technol.* 40(12): 46-57.

Lelyveld, L.J. Van; Bower, J.P. 1984a. Enzyme reactions leading to avocado fruit mesocarp discoloration. *J. Hort. Sci.* 59: 257-263.

Lelyveld, L.J. Van; Gerishi, C.; Dixon, R.A. 1984b. Enzyme activities polyphenol related to mesocarp discoloration of avocado fruit. *Phytochemistry* 57: 221-226.

Liu, F.W. 1992. Sistemas de almacenamiento para productos hortícola. pp. 103-118. *In: Fisiología y tecnología postcosecha de productos horticolas.* Yahia, E.M.; Higuera C.I. (eds.). Ed. Limusa. México.

Lizana, L.A. 1997. Effect of different CA on postharvest-life of Hass avocado. pp. 219-225. *In: Kader, A.A. (ed.). Fruits other than apples and pears.* Davis, California.

López, M. Adolfo. 1969. *Bromatología general.* Edit. CECOSA. México. 140 p.

Luna, G.I.; Cantwell, M.; Barrett, D.M. 1999. Fresh-cut cantaloupe: effects of CaCl_2 dips and treatments on firmness and metabolic activity. *Postharvest Biol. and Technol.* 17: 201-213.

Lunt, R.E.; Smith, H.; Darvas, M.M. 1981. A comparison between waxing and cellophane wrapping of avocados for export. South African Avocado Growers Assoc. Yearbook 4: 57-62.

Martínez, M.A. 1998. Fisiología de la maduración de frutos de mamey (*Pouteria sapota* Jacq. H.E. Moore & Stearm). Tesis de Maestro en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. pp. 4-70.

Mattheis, J.P.; Fellman, J.K. 1999. Preharvest factors influencing flavor of fresh fruit and vegetables. Postharvest Biol. and Technol. 15: 227-232.

Mayer, J. 1987. Polyphenol oxidases in plants. Recent progress of the Phytochemistry 26: 11-20.

Mazliak, Haendier. 1965. Composition of the palm oil. Edit Athenaeum. Florida, USA. pp. 20-54.

Meilgaard, M.G; Civille, V.; Car, B. T.2. Car. 1999. Sensory evaluation techniques. Third edition. CRC Press, Boca Raton, FL. USA. pp. 195-208.

Meir, S.D.N.; Akerman, M.; Zauberman, G.; Fuchs, Y. 1998. Modified atmosphere packaging enables prolonged storage of 'Fuerte' avocado fruit. Acta Hort. 464: 397-402.

Minolta. 1994. Precise Color Communication. Japan. 47 p.

Morales-Castro, J.; Rao, M.; Hotchkiss, J.; Downing, D.L. 1994. Modified atmosphere packaging of sweet corn on cob. J. Food Proc. Preserv. 18: 279-293.

Morris, L. 1995. Mexican avocado alert. United States Department of Agriculture (USDA): 30 p.

Pangborn, R.M. 1964. Sensory evaluation of food "Laboratory Practice" at the University of California. USA. 70 p.

Pantastico, E.R.B. 1984. Fisiología de la post-recolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales. Editorial Continental, S.A. México. 663 p.

Pedrero, D. 1983. El análisis sensorial y algunas de sus consecuencias. Tecnología de alimentos 13(3): 26-29.

Pedrero, F.; Pangborn, R.M. 1989. Evaluación sensorial de los alimentos, métodos analíticos. Ed. Alhambra Mexicana. México. 316 p.

Pennington, J.A.T.; Church, H.N. 1991. Food values of portions commonly used. Tecnología de alimentos 11(4): 18-20.

Pesis, E.D. Faiman; Dori, S. 1998. Postharvest effects of acetaldehyde vapour on ripening-related enzyme activity in avocado fruit. Postharvest Biol. and Technol. 13: 245-253.

Picchioni, G.A.; Watada, A.E. 1998. Membrane structural lipid changes in fresh-cut carrots: revisiting the wounding and aging phenomenon. Acta Hort. 464: 237-242.

Piñol, María-Teresa; Palazón, J.; Cusidó, Rosa-María. 2000. Introducción al metabolismo secundario, pp.269-270. *In*: Fundamentos de fisiología vegetal. Azcón-Bieto J.; Talón, M. (eds.). Edit. Interamericana-McGraw-Hill.

Portela, S.I.; Cantwell, M. 1998. Quality changes of minimally processed honeydew melons stored in air or controlled atmosphere. *Postharvest Biol. and Technol.* 14: 351-357.

Quazi, H.M.; Freebeirn, T.H. 1970. The influence of ethylene oxygen and carbon dioxide on the ripening of bananas. *Bot. Gaz.* 131(1): 5-14 (Abstract).

Rirtenour, M.A.; Mangrich, M.E.; Beaulieu, J.C.; Rab, A.; Saltveit, M.E. 1997. Ethanol effects on the ripening of climacteric fruit. *Postharvest Biol. and Technol.* 12: 35-42.

Rolle, R.S.; Chism, G.W. III. 1987. Physiological consequences of minimally processed fruits and vegetables. *J. Food Quality* 10: 157-177.

Romajaro, F.; Riquelme, F.; Pretel, M.M.; Martínez, G.; Serrano, M.; Martínez, C.; Lozano, P.; Segura, P.; Luna, P.A. 1996. Nuevas tecnologías de conservación de frutas y hortalizas. *Cuadernos Valué.* 30 p.

Rosen, J.C.; Kader, A.A. 1989. Postharvest physiology and quality maintenance of sliced pear and strawberry fruits. *J. Food Sci.* 54: 656-659.

Rosenfeld, H.J.; Meberg, K.R.; Haffner, K.; Sundell, H.A. 1999. MAP of highbush blueberries: sensory quality in relation to storage temperature, film type and initial high oxygen atmosphere. *Postharvest Biol. and Technol.* 16: 27-36.

Salunkhe, D.K.; Desai, B.B. 1984. Postharvest biotechnology of fruits. Vol II. CRC Press Inc. Boca Raton, Florida. pp. 27-52.

Sánchez-Colín, S. 1991. Aportación del CICTAMEX a la agroindustria aguacatera nacional e internacional, pp. 51-56. *In: Memorias del Seminario Internacional del Aguacate (postcosecha y comercialización).* 1 al 4 de Agosto de 1990. FIRA. Uruápan, Michoacán. México.

Sánchez-Pérez, J.L. 1998. Manejo del aguacate en postcosecha. Boletín informativo el aguacatero de la Asociación Agrícola Local de Productores de Aguacate de Uruapan, Michoacán (APROAM) 1(5): 3-6.

Sapers, G.W.; Douglas, F.W. Jr.; Bilyk, A.; Hsu, A.F.; Dower, H.W.; Garzarella, L.; Kozempel, M. 1989. Enzymatic browning in Atlantic potatoes and related cultivars. J. Food Sci. 54: 362-365.

Schlimme, D.V.; Rooney, M.L. 1997. Envasado de frutas y hortalizas minimamente procesadas. pp. 132-178. *In*: Frutas y hortalizas minimamente procesadas y refrigeradas. Willey, R.C. (ed.). Editorial Acribia, S. A. Zaragoza, España.

Scudemore-Smith, P.D. 1984. The utilization of avocado as frozen savoury spread. Food Technology in Australia 36: 375-378.

Senesi, E.; Pastine, R. 1997. Firmness, color and atmosphere inside the packages of minimally processed apple slices prepared at different times after harvest and packed under different conditions. Rivista-di-Frutticoltura-e-di-Ortofloricoltura 59: 57-61.

Shewfelt, R.L. 1990. Quality of fruits and vegetables. A scientific status summary by the Institute of Food Technologists (Expert panel on food safety and nutrition). IFT. Chicago, Illinois. USA. pp. 20-130.

Snowdon, A.L. 1990. A color atlas of postharvest diseases and disorders of fruits and vegetables. Vol I: General Introduction and Fruits. University of Cambridge. Wolfe Scientific. England. pp. 1-70.

Souci, T.; Fachmann, K.; Wissenschaftliche, V. Stuttgart. 1991. Die Zusammensetzung der Lebensmittel Nährwert. Germany. 86 p.

Spalding, D.H.; Marousky, F.J. 1981. Injury to avocados by insufficient oxygen and excessive carbon dioxide during transit. Proceedings of the Florida State Horticultural Society 94: 299-301.

Stone, H.; Sidel, J.L. 1981. Use and misuse of sensory evaluation in research and quality control. Dairy science 64(11): 2296-2302.

Stone, H.; Sidel, J.L. 1993. Sensory evaluation practices. Second edition. Academic Press, Inc. N.Y. USA. pp. 15-31.

Stone, H.; Mc Dermontt; Sidel, B.J. 1991. The importance of sensory analysis for the evaluation of quality. Food Technol. 27(6): 88-94.

Stone, H.; Sidel, J.L.; Oliver, S.; Woolsey, A.; Singleton, C.R. 1974. Sensory evaluation by quantitative descriptive analysis. Food Technol. 28: 23-28.

Swarts, D.H. 1984. Postharvest problems of avocados-Let's talk the same language. S. Afr. Avocado Growers Assoc. Yearbook 7: 15-19.

Thompson, A.K. 1998. Controlled atmosphere storage of fruit and vegetables. CAB International Publishing. N.Y. USA.

Tlapa-Rangel, C.C. 1999. Evaluación de daños por frío y producción de etanol en aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass. Tesis de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. México pp. 45-51.

U.S. Government Printing Office. 1985. Agricultural research service. Annual report. N.Y. USA. 12p.

Underhill, S.J.R. 1992. Lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) pericarp browning. *Trop. Sci.* 32: 305-312.

Underhill, S.J.R.; Coates, L.M.; Saks, Y. 1997. Litchi. *Cab Internacional. Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical fruits.* pp. 191-208.

Wang, C.Y. 1982. Physiological and biochemical responses of plants to chilling stress. *Hort. Science* 17(2): 173-186.

Watada, A.E.; Qi, L. 1999. Quality of fresh-cut produce. *Postharvest Biol. Technol.* 15: 201-205.

Watada, A.E.; Abe, K.; Yamauchi, N. 1990. Physiological activities of partially processed fruits and vegetables. *Food Technol.* 44(5): 116-122.

Waterman, P.G.; Mole, S. 1994. Analysis of phenolic plant metabolites. Blackwell Sc. Pub., Oxford, R.U. England. 240 p.

Whitaker, J.R. 1972. Polyphenoloxidase, pp 571-582. *In: Principles of enzymology for the food sciences.* Decker, M. (ed.). CRC Press Inc. N.Y. USA.

Wiley, Robert C. 1997. Introducción a las frutas y hortalizas refrigeradas mínimamente procesadas, pp. 1-2. *In: Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas.* Wiley, Robert C. (ed.). Editorial Acribia. Zaragoza, España.

Yahia, E.M. 1997. Modified & controlled atmospheres for avocado (*Persea americana* Mill). pp. 97-103. *In: Fruits other than apples and pears.* Kader, A.A. (ed.). Davis, California. USA.

Yahia, M.E. 1998. Modified and controlled atmospheres for tropical fruits. Hort. Rev. 22: 123-183.

Yahia, M.E.; Báez-Sañudo, R. 1992. Manejo postcosecha de frutas subtropicales, pp. 189-206. In: Fisiología y Tecnología Postcosecha de Productos Hortícolas. Yahia, E.M.; Higuera C.I. (eds.). Editorial Limusa. México.

Yildiz, Fatih. 1997. Preparación inicial, manipulación y distribución de frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas, pp. 26. In: Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas. Wiley, Robert C. (ed.). Editorial Acribia. Zaragoza, España.

Zagory, D.; Kader, A.; Kerbel, E. 1988. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. Critical Reviews in food Science and Nutrition 28: 1-30.

Zamora, Magdaleno Ma. T. 1997. Estudio del "Rozamiento y comportamiento en postcosecha en fruto de aguacate (*Persea americana* Mill.) cultivar 'Hass'. Tesis de maestría. Colegio de postgraduados. Montecillo, Mex. pp. 20-43.

Zook, K.; Wessman, C. 1977. The selection and use of judges for descriptive panels. Food Technol. 31(11): 56-61.

APÉNDICE

Cuadro 1. Análisis de varianza. Efecto de la temperatura y película plástica sobre el color en aguacate mínimamente procesado durante 13 días de frigoconservación.

F.V.	g.l.	S.C.	C.M.	F calculada	Pr > F
Modelo	11	92.43151869	4.73876458	2.36	0.0120 **
Error	168	159.3542500	0.30158730		
Total	179	251.7857687		C.V. 6.87 %	
Factor principal					
PP	2	41.28772222	33.72808333	5.49	0.0054 *
T	1	32.04668056	32.04668056	5.22	0.0243 *
PP*T	1	2.62812500	3.20133333	0.52	0.4719 *
J	2	13.62872222	13.62872222	2.22	0.1137 **
PP*J	2	13.77816667	12.07358333	1.97	0.1451 **
T*J	1	0.43512500	0.43512500	0.07	0.7906 **
PP*T*J	2	2.40516667	2.40516667	0.39	0.6770 **

PP: Película; T: Temperatura; J: Juez

* significancia ($\alpha \leq 0.05$); ** significancia ($\alpha \leq 0.01$)

Cuadro 2. Análisis de varianza. Efecto de la temperatura y película plástica sobre el sabor en aguacate mínimamente procesado durante 13 días de frigoconservación.

F.V.	g.l.	S.C.	C.M.	F calculada	Pr > F
Modelo	11	38.71427535	2.48058902	26.05	0.0001 **
Error	168	16.0000000	0.09523810		
Total	179	54.71427535		C.V. 22.21 %	
Factor principal					
PP	2	2.68253968	2.68253698	28.17	0.0001 **
T	1	3.57142857	3.57142857	37.50	0.0001 *
PP*T	1	0.01587302	0.01587302	0.17	0.6836 **
J	2	18.79365079	9.39682540	98.67	0.0001 **
PP*J	2	8.0000000	0.25396825	2.67	0.0724 **
T*J	1	0.8888889	4.0000000	42.00	0.0001 **
PP*T*J	2	4.76190476	0.4444444	4.67	0.0107 **

PP: Película; T: Temperatura; J: Juez

* significancia ($\alpha \leq 0.05$); ** significancia ($\alpha \leq 0.01$)

Cuadro 3. Análisis de varianza. Efecto de la temperatura y película plástica sobre el aroma en aguacate mínimamente procesado durante 13 días de frigoconservación.

F.V.	g.l.	S.C.	C.M.	F calculada	Pr > F
Modelo	11	237.8412696	5.18569516	7.42	0.0001 **
Error	168	117.3333333	0.69841270		
Total	179	355.1746026		C.V. 21.06 %	
Factor principal					
PP	2	4.06349206	4.06349206	5.82	0.0169 **
T	1	0.57142857	0.57142857	0.82	0.3670 **
PP*T	1	92.03174603	46.01587303	3.27	0.0722 *
J	2	2.12698413	1.06349206	65.89	0.0001 **
PP*J	2	2.0000000	1.0000000	1.52	0.2211 **
T*J	1	0.85714286	0.42857143	1.43	0.2418 **
PP*T*J	2	136.19047619	22.69841270	0.61	0.5426 **

PP: Película; T: Temperatura; J: Juez
 * significancia ($\alpha \leq 0.05$); ** significancia ($\alpha \leq 0.01$)

Cuadro 4. Análisis de varianza. Efecto de la temperatura y película plástica sobre la consistencia en aguacate mínimamente procesado durante 13 días de frigoconservación.

F.V.	g.l.	S.C.	C.M.	F calculada	Pr > F
Modelo	11	2.519863034	0.29183400	7.35	0.0001 **
Error	168	6.6666667	0.03968254		
Total	179	9.186529704		C.V. 17.93 %	
Factor principal					
PP	2	0.25396825	0.25396825	6.40	0.0123 *
T	1	0.25396825	0.25396825	6.40	0.0123 *
PP*T	1	0.36127584	0.36111111	6.40	0.0002 *
J	2	0.72222222	0.02777777	9.10	0.4980 **
PP*J	2	0.05555556	0.26587302	0.70	0.0016 **
T*J	1	0.53174603	0.17063492	6.70	0.0151 **
PP*T*J	2	0.34126884	1.15740741	4.30	0.0001 **

PP: Película; T: Temperatura; J: Juez
 * significancia ($\alpha \leq 0.05$); ** significancia ($\alpha \leq 0.01$)

Cuadro 5. Análisis de varianza. Efecto de la temperatura y película plástica sobre la apariencia en aguacate mínimamente procesado durante 13 días de frigoconservación.

F.V.	g.l.	S.C.	C.M.	F calculada	Pr > F
Modelo	11	34.46031746	2.48058902	26.05	0.0001 **
Error	168	50.66666667	0.09523810	C.V. 22.21 %	
Total	179	85.12698413			
Factor principal					
PP	2	2.68253968	2.68253968	28.17	0.0019 *
T	1	3.57142857	3.57142857	37.50	0.0001 **
PP*T	1	0.01587302	0.01587302	0.17	0.0204 *
J	2	18.79365079	9.39682540	98.67	0.0001 **
PP*J	2	0.50793651	0.25396825	2.67	0.0724 **
T*J	1	8.00000000	4.00000000	42.00	0.0001 **
PP*T*J	2	0.88888889	0.44444444	4.67	0.0001 **

PP: Película; T: Temperatura; J: Juez

* significancia ($\alpha \leq 0.05$); ** significancia ($\alpha \leq 0.01$)