



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

CONSERVACIÓN DE FRUTOS DE AGUACATE 'HASS'
(*Persea americana* Mill.) EN ATMÓSFERA MODIFICADA
BASADA EN MICROPERFORADO

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN
CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

PRESENTA:
CARLOS CRISTÓBAL ESPINOSA CRUZ



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



Enero de 2013
Chapingo, Estado de México.

**“CONSERVACIÓN DE FRUTOS DE AGUACATE ‘HASS’ (*Persea americana* Mill.)
EN ATMÓSFERA MODIFICADA BASADA EN MICROPERFORADO”**

Tesis realizada por el Ing. Carlos Cristóbal Espinosa Cruz 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:
CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA**

PRESIDENTE:



Dr. Salvador Valle Guadarrama

ASESOR:



Dra. María Teresa Martínez Damián

ASESOR:



Dra. Ma. Carmen Ybarra Moncada

AGRADECIMIENTOS

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

A la maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria del Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma Chapingo, por brindarme las herramientas para continuar con mi formación profesional.

Al Dr. Salvador Valle Guadarrama por ser el director de la presente tesis, y por todas las aportaciones y apoyo brindado.

A la Dra. Ma. Carmen Ybarra Moncada, por ser parte del comité asesor y por su apoyo y toda la confianza depositada en mí.

A la Dra. María Teresa Martínez Damián, por ser mi asesora, por su disponibilidad en todo momento y por todas las observaciones al presente trabajo.

Al Dr. Crescenciano Saucedo Veloz y a la M.C. Cecilia García Osorio, por las facilidades otorgadas para la realización de los últimos análisis cromatográficos.

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a mi familia, especialmente a mis padres:

Manuel Espinosa Vázquez y Antonia Cruz Cruz

DATOS BIOGRÁFICOS

Nombre: Carlos Cristóbal Espinosa Cruz.

Lugar de origen: Emiliano Zapata, Mpio. La Independencia, Chiapas.

Fecha de nacimiento: 20 de agosto de 1983.

Correo electrónico: crismarajc@hotmail.com

Formación académica:

Primaria: “Armando Guerra”, La Independencia, Chiapas.

Secundaria: “ETV 701”, La Independencia, Chiapas.

Bachillerato: “Preparatoria Agrícola, UACH”, Texcoco, Estado de México.

Licenciatura: “Departamento de Ingeniería Agroindustrial, UACH”, Texcoco, Estado de México.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xii
1. INTRODUCCIÓN	2
2. OBJETIVOS	5
3. HIPÓTESIS	5
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	6
4.1 Generalidades del aguacate	6
4.1.1 Origen, descripción botánica, morfología y cultivares.....	6
5.1.2 Características generales del cultivar ‘Hass’	7
4.2 Producción mundial y nacional	7
4.3 Valor nutritivo del aguacate	9
4.4 Crecimiento y maduración del aguacate.....	10
4.5 Cosecha.....	11
4.6 Manejo postcosecha	12
4.6.1 Acondicionamiento del fruto	13
4.6.2 Refrigeración.....	13
4.6.2.1 Daños por frío	14
4.6.3 Encerado.....	15
4.6.4 Manejo de sistemas de atmósfera modificada y controlada	15
4.6.4.1 Generación de atmósfera modificada pasiva	17
4.6.4.2 Generación de atmósfera modificada activa	18
4.6.4.3 Condiciones límite de operación de sistemas de AC/AM.....	18
4.6.4.4 Efecto de la baja y elevada concentración de O ₂ y de CO ₂	18

4.6.4.5	Tipos de empackado y atmósferas modificadas	19
4.6.4.6	Uso de microperforado en atmósferas modificadas	20
5.	MATERIALES Y MÉTODOS	21
5.1	Material vegetal y caracterización general.....	21
5.2	Estructura general de la investigación.	21
5.2.1	Fase uno de investigación.....	22
5.2.2	Análisis de datos de la fase uno.....	24
5.2.3	Fase dos de investigación.....	25
5.2.4	Análisis de resultados de la fase dos	27
5.3	Metodologías de evaluación de variables respuesta	28
5.3.1	Pérdida de Peso.....	28
5.3.2	Color.....	29
5.3.3	Firmeza	29
5.3.4	Concentraciones de O ₂ y CO ₂	30
5.3.5	Metabolitos anaerobios	31
5.3.6	pH.....	32
5.3.7	Acidez titulable	33
5.3.8	Sólidos solubles totales (SST).....	34
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
6.1	Fase uno de investigación	35
6.2	Fase dos de investigación.	42
6.2.1	Caracterización inicial	42
6.2.2	Resumen de análisis de Varianza	43
6.2.3	Pérdida de peso	43
6.2.4	Color.....	45

6.2.4.1	Luminosidad.....	45
6.2.4.2	Cromaticidad.....	47
6.2.3.3	Ángulo de matiz o Hue (h°)	49
6.2.5	Firmeza	52
6.2.6	Concentración de CO ₂ y O ₂ instalada en los envases.....	54
6.2.7	Metabolitos anaerobios	56
6.2.8	pH.....	59
6.2.9	Acidez titulable	60
6.2.10	Sólidos Solubles Totales (SST)	63
7.	CONCLUSIONES.....	66
8.	BIBLIOGRAFÍA	67

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis proximal de 100 g de aguacate ‘Hass’	8
Cuadro 2. Beneficios y ventajas del uso de las AM	15
Cuadro 3. Combinación de tratamientos de la primera fase experimental, con dos niveles en la temperatura y cinco en el microperforado de envases.	23
Cuadro 4. Combinación de tratamientos de la segunda fase experimental, con dos niveles en la temperatura y dos en el tipo de atmósfera circundante.....	26
Cuadro 5. Constantes de regresión asociadas a la Ecuación (1) para cálculo de las concentraciones instaladas de O ₂ y CO ₂ al interior de los recipientes de PET conteniendo frutos de aguacate ‘Hass’ almacenados a temperatura ambiente y refrigeración	39
Cuadro 6. Análisis de varianza para concentraciones instaladas de CO ₂ y O ₂ en AM modificada (efecto de los factores temperatura y microperforado).....	39
Cuadro 7. Comparación de medias de concentraciones instaladas de O ₂ y CO ₂ en atmósfera modificada, conteniendo frutos de aguacate ‘Hass’	37
Cuadro 8. Resumen de estadística de ajuste de las variables evaluadas	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales países productores de aguacate a nivel mundial en el 2010.....	7
Figura 2. Estados productores de aguacate en México en el año 2010	7
Figura 3. a) lavado y desinfección con hipoclorito de sodio, b) secado al ambiente y c) pesado de frutos de aguacate 'Hass'	20
Figura 4. Representación de la unidad experimental y características que la conforman (frutos, recipiente, tapa, puerto de monitoreo y microperforaciones)	21
Figura 5. Unidades experimentales a (a) temperatura ambiente y en (b) refrigeración con los niveles de microperforado por triplicado.	22
Figura 6. Unidades experimentales colocadas a) al ambiente y b) en refrigeración	25
Figura 7. Muestras de pulpa de aguacate de cada UE, depositadas en viales de cristal para congelación y determinación posterior de metabolitos anaerobios .	26
Figura 8. Determinación de las variables L^* , a^* y b^* por medio del colorímetro Hunter Lab	28
Figura 9. Evaluación de la firmeza en aguacate 'Hass' por medio de un analizador de textura con accesorio esférico y punta esférica en una rutina de penetrometría.....	29
Figura 10. Cromatógrafo de gases Varian® modelo Star 3400CX (a) y cromatógrafo de gases Hewlett Packard® modelo 5890 Serie II (b)	30
Figura 11. Curva tipo para cuantificación de oxígeno y dióxido de carbono	30
Figura 12. Curva tipo para cuantificación de etanol y acetaldehído	31
Figura 13. Determinación de pH por medio de potenciómetro portátil	32

Figura 14. Rutina de titulación para determinar acidez titulable	33
Figura 15. Determinación de SST por medio de refractometría.....	33
Figura 16. Cinética de cambio de concentración de O ₂ y CO ₂ al ambiente	37
Figura 17. Cinética de cambio de concentración de O ₂ y CO ₂ en refrigeración	38
Figura 18. Pérdida de peso acumulada en frutos de aguacate	43
Figura 19. Comparación de medias de pérdida de peso en frutos de aguacate	44
Figura 20. Variación de Luminosidad (L) en cáscara de frutos de aguacate	45
Figura 21. Comparación de medias de luminosidad en aguacate	46
Figura 22. Variación de la cromaticidad (C) en aguacate	47
Figura 23. Comparación de medias de cromaticidad de frutos de aguacate	48
Figura 24. Variación del ángulo de tono (°) en aguacate	49
Figura 23. Comparación de medias de ángulo de tono (°) de frutos de aguacate	50
Figura 26. Variación de la firmeza (N) en aguacate.....	51
Figura 27. Comparación de medias de la firmeza (N) de aguacate	53
Figura 28. Concentración de O ₂ y CO ₂ para atmósfera modificada a temperatura ambiente (a) y en refrigeración (b) en recipientes almacenando frutos de aguacate	54
Figura 29. Variación de las concentraciones de metabolitos anaerobios (acetaldehído y etanol) en aguacate.....	56
Figura 30. Comparación de medias de concentración de matabolitos anaerobios (acetaldehído y etanol) en aguacate	57
Figura 31. Variación de pH en frutos de aguacate.....	58
Figura 32. Comparación de medias de pH en frutos de aguacate.....	60
Figura 33. Variación de la acidez en frutos de aguacate	61

Figura 34. Comparación de medias de porcentaje de acidez en frutos de aguacate.....	62
Figura 35. Variación de SST en aguacate	63
Figura 36. Comparación de medias en SST de frutos de aguacate.....	64

**CONSERVACIÓN DE FRUTOS DE AGUACATE 'HASS' (*Persea americana* Mill.)
EN ATMÓSFERA MODIFICADA BASADA EN MICROPERFORADO**

**CONSERVATION OF 'HASS' AVOCADO (*Persea americana* Mill.) FRUITS
IN MODIFIED ATMOSPHERE BASED IN MICROPERFORATION**

Espinosa-Cruz Carlos Cristóbal¹, Valle-Guadarrama Salvador²

RESUMEN

El fruto de aguacate (*Persea americana* Mill.) es un material de alta perecibilidad, siendo el uso de la refrigeración y las atmósferas modificada/controladas (AM/AC) las principales estrategias para alargar su vida útil. Una problemática del uso de las AM es el riesgo de presencia de metabolismo fermentativo, por lo que el objetivo de este trabajo consistió en determinar el efecto de la microperforación en AM, para obtener elementos que permitan mejorar la conservación de frutos de aguacate 'Hass' en postcosecha. Se encontró que diferentes niveles de microperforado brindan concentraciones diferentes de CO₂ y O₂ en los recipientes y que 2 y 4 microperforaciones en refrigeración y a temperatura ambiente, respectivamente, brindaron una AM estable con las concentraciones de O₂ recomendadas para aguacate. La AM a base de microperforación aumentó la vida de anaquel de los frutos almacenados a temperatura ambiente y en refrigeración, esto debido a que los procesos metabólicos se dieron de forma más lenta. La cantidad de metabolitos anaerobios se produjo en bajos niveles debido al efecto del microperforado.

Palabras clave: *Persea americana* Mill., postcosecha, metabolismo fermentativo, microperforado, vida de anaquel.

ABSTRACT

The fruit of avocado (*Persea americana* Mill.) is a product of high perishability, being the use of refrigeration and the modified/controlled atmospheres (MA/CA) the main strategies to lengthen its shelf life. A problem of using of MA is the risk of presence of fermentative metabolism; so the objectives of this study was to evaluate the effect of microperforation in MA to obtain elements to improve the conservation of fruits of 'Hass' avocado in postharvest. It was found that different levels of microperforation provide different concentrations of CO₂ and O₂ packages, where 2 and 4 microperforations on refrigeration and room temperature, produce a stable MA according with the recommended concentrations to O₂ for avocado, respectively. The MA based on microperforation increased the shelf life of fruits stored at room temperature and refrigeration, this because the metabolic process occurred resulted slowed down. The amount of anaerobic metabolites was produced at low levels due to the effect of microperforation.

Key words: *Persea americana* Mill., postharvest, fermentative metabolism, microperforation, shelf life.

¹ Tesista

² Director de tesis

1. INTRODUCCIÓN

El importante progreso en el incremento de la producción de aguacate (*Persea americana* Mill.) a nivel mundial, ha significado en los últimos años un crecimiento en el comercio internacional, para satisfacer las demandas de consumo en regiones donde el aguacate no puede ser cultivado o donde el volumen de producción es insuficiente para la demanda del mercado (Ochoa-Ascencio, 2009). El aguacate es un fruto de gran importancia socioeconómica en México y de acuerdo con Téliz *et al.* (2006), esto se deriva del beneficio que genera entre productores, comerciantes, industriales y consumidores del mismo. Lo cual lo ha mantenido como principal productor y exportador a nivel mundial con 1,107140 (SIAP, 2012) y 337 997 (FAO, 2012) toneladas para el año 2010, respectivamente.

Sin embargo, se presentan diversos problemas postcosecha como lo es el ablandamiento excesivo del fruto producto de la respiración, daños por frío a causa de bajas temperaturas, pudriciones a causa de patógenos y desarrollo de componentes de sabor y aroma, los cuales limitan su comercialización, principalmente en mercados distantes como los de exportación (Ochoa-Ascencio, 2009; Román y Yahia, 2002), incrementando los costos y, de esta manera, disminuyendo la competitividad (Meza y Robles, 1996). Por lo anterior, es indispensable un manejo postcosecha adecuado para preservar sus atributos de calidad y facilitar el aumento de las exportaciones.

La máxima calidad del fruto se obtiene en el campo con todos los cuidados precosecha, mientras que las diversas actividades postcosecha permiten disminuir la velocidad de deterioro de los frutos, pero no van a mejorar la calidad obtenida en campo, por lo que los cuidados postcosecha ayudan a

mantener la calidad, mayor vida de anaquel y menores pérdidas económicas (Román y Yahia, 2002).

La refrigeración es el principal método usado para extender la vida de anaquel de los frutos de aguacate y el tiempo durante el cual puede ser mantenido en frío sin sufrir daños depende de la variedad, temperatura de almacenamiento y periodo (Ochoa-Ascencio, 2009). La vida de anaquel de los frutos sin refrigeración es muy corta (9 a 12 d) y provoca que se tengan pérdidas de hasta 40%, mientras que en refrigeración puede ser almacenado hasta por cuatro semanas manteniendo su calidad en un nivel aceptable, ya que si se refrigera por más tiempo se corre el riesgo de tener daños internos y externos, como son oscurecimiento del sistema vascular en la pulpa, manchado de la piel, maduración irregular, y desarrollo de color translucido y sabores anormales (Yahia, 2001). En la mayoría de los casos el aguacate 'Hass' se conserva mediante refrigeración a 10 °F (4°C) alrededor de 30 días y de manera muy limitada a través de la aplicación de atmósferas controladas (AC) o modificadas (AM) (Kader, 2002; Valle-Guadarrama, 2003).

El almacenamiento de frutas y hortalizas en sistemas de AC o AM representan tecnologías de conservación que permiten un período mayor de vida útil de productos frescos (Mora, 2007). Las AC y AM modifican la composición de la mezcla gaseosa que rodea al fruto en relación al aire atmosférico normal, ya sea por el control artificial de cada gas (en AC) o por el uso (como recubrimiento) de una película plástica (en AM), donde la alteración ocurre por el intercambio gaseoso que caracteriza al proceso respiratorio y el flujo de permeación selectiva de gases que presenta a través de la película (Romojaro *et al.*, 1996; Ospina y Cartagena, 2008; Ochoa-Ascencio, 2009).

De acuerdo con Kader (1997), Beaudry (1999) y Román y Yahia (2002), la exposición de un fruto a un ambiente de concentraciones de O₂ y CO₂ menor y mayor al ambiental, respectivamente, afecta diversos procesos de los metabolismos primario y secundario, donde resaltan la disminución de la tasa de respiración y la reducción de la tasa de producción y acción del etileno,

propiciando un retardo en la maduración del fruto pues reduce el proceso respiratorio al alcanzar un mínimo.

Un problema frecuente del almacenamiento de productos hortofrutícolas en AC o AM es el riesgo de manifestación de un metabolismo fermentativo, originado por una reducción excesiva de la concentración de oxígeno en el ambiente circundante, obteniéndose como productos principales de este proceso acetaldehído, etanol y acetato de etilo y el efecto de estos productos puede ser benéfico o perjudicial dependiendo de la concentración (Valle, 2003; Rodov, 2007). El fruto de aguacate presenta una tolerancia moderada a la disponibilidad baja de O₂ y en general se recomienda usar niveles de 3 – 5 % en el ambiente como una concentración adecuada (Román y Yahia, 2002; Kader, 2002)

Debido a que en las atmósferas modificadas existe baja disponibilidad de oxígeno debido a los materiales de empaque y se corre alto riesgo de presencia de anaerobiosis y deterioro acelerado (Kader, 1985; Rodov *et al.*, 2007), una opción para su abatimiento la representa el microperforado. Esta técnica ha sido probada en cebolla gala por Ibaraki (2000), en Esparrago por Kadau *et al.* (2003), en fresas por Rodov *et al.* (2007), en trufas por Hajja *et al.* (2010) y en Huitlacoche por Monroy (2009) obteniéndose diversos resultados satisfactorios al prolongar la vida de anaquel. Sin embargo, aún no ha sido probada en frutos de aguacate, por lo que el enfoque de este trabajo es evaluarla para determinar si con ella se consigue un adecuado manejo de los frutos en atmósfera modificada, en refrigeración y a temperatura ambiente, que permita mejorar los tiempos de vida de anaquel que normalmente se ha obtenido.

2. OBJETIVOS

1. Evaluar el efecto de cinco niveles de microperforación en envases rígidos de PET sobre las condiciones de operación de una atmósfera modificada, usada para conservar frutos de aguacate 'Hass' en postcosecha, en condiciones ambientales (18°C) y de refrigeración (5 °C).
2. Evaluar la mejor atmósfera modificada, generada por el objetivo 1, sobre la vida de anaquel y el abatimiento del metabolismo fermentativo en frutos de aguacate 'Hass' en condiciones ambientales (18°C) y de refrigeración (5 °C).

3. HIPÓTESIS

1. Existen diferencias en concentraciones de O₂ al interior de los recipientes microperforados a 5 niveles cuando se almacenan aguacates a temperatura ambiente (18°C) y bajo refrigeración (5°C).
2. El uso de una atmósfera modificada basada en microperforado favorece el aumento de la vida de anaquel en frutos de aguacate a temperatura ambiente y en refrigeración.
3. El uso de microperforado en atmósferas modificadas es efectivo en el abatimiento del metabolismo fermentativo en frutos de aguacate almacenados a temperatura ambiente y en refrigeración.

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1 Generalidades del aguacate

4.1.1 Origen, descripción botánica, morfología y cultivares.

El aguacate (*Persea americana Mill.*) es originario de América (Téliz, 2006) y de acuerdo con Gómez (2000), es originario específicamente del sureste de México y de las zonas tropicales y subtropicales de Centroamérica ; su nombre deriva de la palabra nativa “aoacatl” o “ahuacatl”, utilizada por los antiguos habitantes del altiplano mexicano para designar al fruto o al árbol (Téliz, 2006).

El fruto del aguacate botánicamente se relaciona con una drupa que consiste de un solo carpelo y una sola semilla. El pericarpio comprende la cáscara (exocarpio), la pulpa (porción comestible; mesocarpio) y la capa delgada próxima a la capa de la semilla (endocarpio) (Gómez, 2000; Téliz, 2006).

En cuanto a razas, actualmente se reconocen tres dentro de la especie *Persea americana Mill.*: mexicana, guatemalteca y antillana, las cuales se consideran como subtropical, semitropical y tropical respectivamente (Téliz, 2006). La diferencia entre las diversas razas y variedades se debe especialmente a la fisiología del fruto o maduración y al contenido de aceite. Respecto a la raza mexicana, es originaria de las montañas de México y América Central y se caracteriza por tener hojas y brotes jóvenes y con olor a anís; los frutos son relativamente pequeños en un intervalo entre 75 a 300 g, de cáscara lisa, flexible y delgada y con pulpa de color verde claro y muy suave, la cual presenta un contenido alto de aceite (Téliz, 2006; Mora, 2007).

Algunas de los cultivares más importantes de adaptación tropical y subtropical son: Hass, Fuerte, Bacon, Colín V-33, Reed, Pinkertón, Wuitsell, Gwen, Lula, Booth 8 y Choquette (Téliz, 2006). Mientras que de acuerdo al Sistema de

Información Agrícola y Pecuaria (SIAP) de la SAGARPA en México, en el mismo, las variedades comerciales más cultivadas para el año 2010 son: 'Hass' principalmente, criollo, Fuerte, entre otros (SIAP, 2012)

5.1.2 Características generales del cultivar 'Hass'

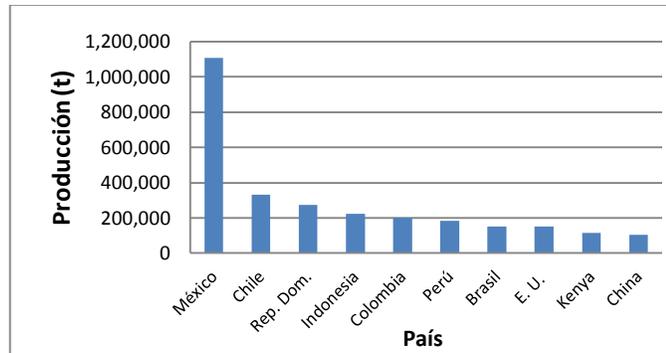
Es el principal cultivar comercial en el mundo y fue originado en California por Rudolph G. Hass a principios de 1920 y patentado en 1935. Es de progenitores desconocidos (pero cercano a la raza guatemalteca) y se cree que proviene del cultivar Lyon. El cultivar Hass cuenta con un 10-15% de genes de la raza mexicana y el resto de la raza guatemalteca, por ello varios autores mencionan que es el resultado de la cruce de ambas (Téliz, 2006). El cultivar Hass es de gran importancia para México ya que representó en el año 2010 un 75 a 80% de la producción total y además es una de las principales variedades de exportación (SIAP, 2012).

Téliz (2006) describe al aguacate como un fruto que presenta un peso 170 a 350 g; pulpa cremosa de sabor excelente, sin fibra, contenido de aceite de 23.7%; cáscara algo coriácea, rugosa, color púrpura oscuro al madurar; semilla pequeña y adherida a la cavidad. Por su parte Rodríguez (1992), lo describe como un fruto oval con peso promedio de 250 g, con cáscara de color verde oscuro brillante con tonalidades negras y pequeños puntos cafés, epicarpio rugoso y duro, fácilmente desprendible del mesocarpio, el cual tiene color amarillo en el interior y verde al exterior; es sumamente apetecible, de buen olor, sin fibra y hueso pequeño. El fruto se puede mantener por algunos meses en el árbol después de la madurez fisiológica.

4.2 Producción mundial y nacional

A nivel mundial existe un importante progreso en el aumento de la producción de aguacate, lo cual es resultado, a su vez, de la creciente demanda de los consumidores a nivel mundial (Ochoa-Ascencio, 2009).

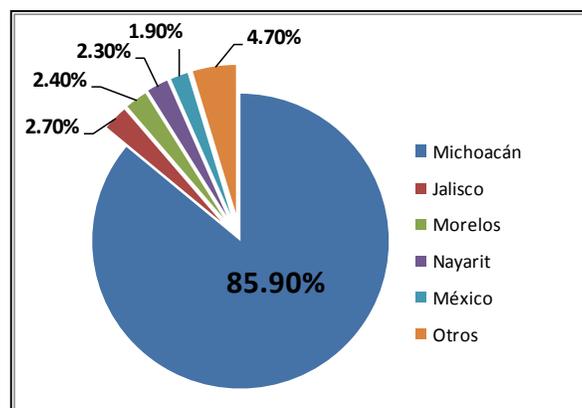
El cultivo y la producción de aguacate se encuentran concentrados principalmente en el continente americano, donde México, Chile y República Dominicana destacan como los principales países productores a nivel continente y mundial. De hecho, México es por mucho el primer productor del mundo y participó en el año 2010 con más del 30% (1,107 140 t) de la producción total (FAO, 2012) (Figura 1).



Fuente: Elaboración propia con datos de FAO, 2012.

Figura 1. Principales países productores de aguacate a nivel mundial en el año 2010.

Respecto a México, en la Figura 2 se puede observar que la producción de aguacate se concentra principalmente en 5 estados, donde Michoacán los supera por mucho, ya que por sí solo representó un 85.9% (959 442 t) de la producción total nacional para el año 2010 (SIAP, 2012).



Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP, 2012.

Figura 2. Estados productores de aguacate en México en el año 2010.

4.3 Valor nutritivo del aguacate

El alto valor nutritivo del aguacate, así como sus propiedades dietéticas lo convierten en uno de los frutos más atractivo para los consumidores en todo el mundo, lo que incide en una sobre demanda mundial y en un incremento de la superficie destinada a su cultivo (Ochoa-Ascencio, 2009).

El fruto de aguacate tiene un alto contenido de proteína, fibra y vitaminas (A, C y E); el nivel de azúcar es relativamente bajo; es una excelente fuente de potasio y fósforo y contiene ácidos grasos monoinsaturados que reducen de manera efectiva el nivel de colesterol en la sangre, ayudando en la prevención de enfermedades coronarias. El aceite de aguacate presenta un nivel de digestibilidad de 93.8% y es rico en vitamina A, B, C y E. Está compuesto por ácido palmítico (7%), esteárico (1%), oleico (79%) y linolénico (13%) (Morton, 1987).

Para conocer a detalle la composición química del fruto de aguacate, y en particular la del cultivar Hass, en el Cuadro 1 se presenta el análisis proximal de 100 g de pulpa.

Cuadro 1. Análisis proximal de 100 g de aguacate 'Hass'.

Componente	Valor
Fibra	0.4 g
Carbohidratos	5.9 g
Proteínas	1.8 g
Ácidos grasos	
Saturados	3.0 g
Monoinsaturados	8.9 g
Poliinsaturados	2.0 g
Retinol (A)	17.0 mg
Tiamina	0.10 mg
Riboflavina	0.10 mg
Niacina	1.80 mg
Vitamina C	15.0 mg
Vitamina E	1.53 mg
Vitamina B6	0.25 mg

Folato	10.0 mg
Ac. pantoténico	0.87 mg
Calcio	24.0 mg
Hierro	0.5 mg
Magnesio	45.0 mg
Sodio	4.0 mg
Potasio	604.0 mg
Zinc	0.42 mg
Kilocalorías	181.0 kcal

Fuente: Téliz, 2006

4.4 Crecimiento y maduración del aguacate

Los frutos del aguacate tienden a continuar con su crecimiento mientras están adheridos al árbol y las diferencias en tamaño entre variedades de aguacate se determinan más por división celular que por alargamiento celular. El patrón respiratorio del aguacate es similar en todas las etapas de su desarrollo; sin embargo el máximo climatérico aparece tempranamente. Un rasgo importante del patrón respiratorio en todas las variedades de aguacate es la caída de la respiración después del corte y posteriormente la rápida elevación de esta para alcanzar el máximo climatérico, en un periodo que va de 7 a 13 días en diferentes variedades en condiciones ambientales (Mora, 2007).

El proceso de maduración del aguacate está marcado por una variedad de cambios bioquímicos que incluyen incrementos en la producción de etileno y en la respiración, ablandamiento y desarrollo de componentes de sabor (Seymour y Tucker, 1993). El fruto del aguacate no alcanza la madurez de consumo en el árbol, sino después de que se cosecha (Schroeder, 1953; Lewis, 1978, Sitrit y Riov, 1986) debido a que existe un inhibidor natural que puede continuar sus efectos después de las subsecuentes 24 horas después de que el fruto se ha desprendido del árbol (Kader, 1986). Este fenómeno parece estar explicado por la presencia de una sustancia que actúa como reguladora de la maduración y que se transloca desde el pedúnculo una vez que se independiza el fruto del árbol (Tingwa y Young, 1975).

La madurez del fruto está basada en el metabolismo de lípidos, con una rápida acumulación de aceite y de materia seca; el mayor incremento es del ácido insaturado oleico, que es el principal constituyente. Este incremento de aceite va acompañado de una baja en la concentración de azúcares C7 que revela la importancia de los azúcares solubles en los procesos de respiración asociados con la fisiología poscosecha y madurez de fruto (Ochoa-Ascencio, 2009).

Cuando se presenta la maduración, los cambios de color, textura, sabor y otros atributos ocurren de manera regulada, además de que estos cambios son causados por alteraciones en la actividad enzimática por la estimulación de la expresión genética. La maduración en 'Hass' está asociada con ablandamiento y cambios externos en el color de la piel, de verde a negro de acuerdo con Saucedo, (1991) o de verde a negro-púrpura que es causado principalmente por la degradación de la clorofila y el aumento en la concentración de carotenoides y antocianinas según Arzate-Vázquez *et al.* (2011), siendo el ablandamiento el principal aspecto del proceso de maduración y que es considerado como una consecuencia de modificaciones en la composición y estructura de la pared celular (Ochoa-Ascencio 2009).

4.5 Cosecha

La cosecha del fruto de aguacate es una práctica que debe ser realizada con extremo cuidado para evitar los golpes y otros daños físicos que pueden provocar pérdida de agua y ablandamiento y dar lugar a pudriciones cuando la fruta madura; así mismo se debe realizar en horas tempranas y frescas para disminuir el calor de campo. El aguacate se cosecha manualmente con el uso de tijeras y navajas; se emplean bolsas de cosecha y cajas de campo. El fruto se corta manteniendo un pedúnculo de 3 a 5 centímetros; la función del pedúnculo es evitar la pérdida de agua y evitar la entrada de agentes patógenos (Ascencio-Ochoa, 2009),

La madurez fisiológica en los frutos puede ser definida como la fase del desarrollo donde el máximo crecimiento ha ocurrido, siendo un 8% el contenido

de aceite aceptable como buen índice de madurez para diferentes cultivares y de 20 a 22.8% de peso seco aceptable dependiendo del cultivar (Solares, 1981). En aguacate, el estado de maduración al cosechar es crítico debido a que frutos cosechados con niveles de materia seca por debajo del mínimo recomendado, maduran de manera irregular y no desarrollan completamente sus atributos de calidad; por otra parte, frutos cosechados con niveles de materia seca altos, experimentan una rápida maduración y reducen su vida de anaquel (Ochoa- Ascencio, 2009).

Una vez cosechados los frutos, la espera en el campo para su transporte a la empacadora debe llevarse a cabo en la sombra y no debe prolongarse por mucho tiempo. Se debe tener cuidado en todo momento en utilizar las mejores carreteras y caminos y asegurar que los amortiguadores de los vehículos estén en buenas condiciones con el fin de evitar daños mecánicos en la fruta (Ascencio-Ochoa, 2009).

4.6 Manejo postcosecha

El manejo postcosecha puede afectar transformaciones metabólicas de compuestos químicos ya presentes; el buen sabor y gusto de las frutas y hortalizas están estrechamente relacionadas con la cantidad y tipo de constitución química, así como la naturaleza física del producto en el momento de la cosecha (Mora, 2007).

Debido a que el fruto del aguacate es muy perecedero requiere de la aplicación de prácticas y tecnologías postcosecha adecuadas como son la refrigeración, las atmósferas controladas y modificadas, empaques y empacado adecuado, entre otros, para disminuir la incidencia y severidad de algunos factores relacionados con el deterioro como son la respiración, la sensibilidad a bajas temperaturas y el ataque de patógenos entre otros (Román y Yahia, 2002).

4.6.1 Acondicionamiento del fruto

El acondicionamiento consiste en la aplicación de temperaturas moderadas previas al almacenamiento, las cuales pueden ayudar a aumentar la resistencia al frío. Esta técnica consiste en una reducción gradual y periódica de las temperaturas hasta alcanzar la temperatura de conservación (Saucedo, 1991).

Actualmente la refrigeración constituye el principal método empleado para la conservación y transporte de productos hortofrutícolas en estado fresco. Esto es, con base en la disminución de la temperatura los productos reducen la velocidad de los procesos que conducen a la maduración y/o senescencia (Cajuste, 1992).

4.6.2 Refrigeración

Durante el periodo entre la cosecha y el consumo, el control de la temperatura es el factor más importante y más empleado para mantener la calidad de los frutos y su vida de anaquel; el tiempo durante el cual puede ser mantenido en frío sin sufrir daños, depende de la variedad, temperatura de almacenamiento y periodo de almacenamiento (Ochoa-Ascencio, 2009; Román y Yahia, 2002). La temperatura ideal para el almacenamiento/transporte del aguacate difiere de acuerdo a la variedad, debido a sus amplios rangos de susceptibilidad al daño por frío (Ochoa-Ascencio, 2009). De acuerdo con Corrales-García y Tlapa-Rangel (1999), para asegurar una conservación exitosa de frutos de aguacate se requiere manejar correctamente este factor, lo cual se logra refrigerando a temperaturas específicas, pero nunca menores 0 °C, mientras que Román y Yahia (2002) mencionan que el almacenamiento a temperaturas menores de 6 °C provoca daños por frío en muchas variedades y es necesario asegurar que toda la fruta se encuentre en postclimatérico para poder ser enfriada a temperaturas más bajas (2 °C).

Las variedades tolerantes al daño por frío, tales como Lula, Booth 1, Booth 8 y Taylor pueden ser almacenadas o transportadas a una temperatura de 4.4 °C por 4 a 8 semanas. Todas las variedades de la raza antillana tales como Fuchs,

Pollock y Waldin son muy sensibles al daño por frío y pueden ser almacenadas a 13 °C por un periodo máximo de 2 semanas. Las variedades 'Hass', 'Fuerte' y 'Booth 7' son de susceptibilidad intermedia y la mejor temperatura para mantenerlos es de 4.5 a 7.2 °C, dependiendo de su estado de madurez de 2 a 4 semanas (Ochoa-Ascencio, 2009).

Específicamente al cultivar Hass, Román y Yahia (2002) lo reportan como un material resistente a los daños por frío ya que durante una prueba no se presentaron daños al ser almacenados por 3 semanas a 2.2 °C. Sin embargo, también influye el tiempo de almacenamiento.

Cuando el periodo de almacenamiento o transporte es relativamente corto se pueden utilizar temperaturas ligeramente bajas. Sin embargo, cuando los periodos de almacenamiento o transporte y de vida de anaquel son prolongados no se deben utilizar temperaturas menores de las recomendadas. No se recomienda mantener la fruta de estas variedades por periodos prolongados a temperaturas menores de 4 °C y es muy importante evitar las fluctuaciones en la temperatura del almacén y transporte, ya que esto puede ocasionar daño por frío, maduración y ablandamiento irregular y favorecer la presencia de pudriciones (Ochoa-Ascencio, 2009).

4.6.2.1 Daños por frío

El daño por frío es un desorden que se origina por la susceptibilidad de los tejidos a temperaturas inferiores a 4.5 °C. El daño por frío en aguacate 'Hass' almacenado en refrigeración, se manifiesta en el mesocarpio y consiste en el oscurecimiento alrededor de los haces vasculares, desarrollo de sabores y aromas desagradables, incapacidad para madurar y mayor susceptibilidad a pudriciones. La formación de cavidades, manchas oscuras o manchado general de la superficie son manifestaciones secundarias del proceso de daños por frío. Sin embargo, los síntomas se hacen claramente evidentes cuando los frutos alcanzan la madurez de consumo, lo cual ya es tarde para la comercialización (Téliz *et al.*, 2006; Corrales-García y Tlapa-Rangel, 1999).

4.6.3 Encerado

La aplicación de cera modifica la atmósfera interna del tejido del fruto, disminuyendo el nivel de oxígeno e incrementando la concentración de dióxido de carbono, lo que retarda la maduración. No se han visto efectos negativos asociados a la aplicación de ceras, pero el aumento en vida de anaquel es mínimo y proporciones incorrectas de O₂ y CO₂ pueden dar como resultado desórdenes fisiológicos (Ochoa-Ascencio, 2009). De acuerdo con Román y Yahia (2002), el logro significativo de la aplicación de ceras es el aumento de 1 día de vida útil después de 14 días de almacenamiento en refrigeración.

Se reportan seis tipos de ceras aplicadas en aguacate 'Hass', sin embargo la que presenta los mejores resultados es la cera comercial Avocado Wax® al aplicarse en una concentración del 11%, esto debido a que se obtiene la menor pérdida de peso, aumento de brillo y se disminuye los riesgos de la modificación interna de O₂ y CO₂ (Román y Yahia, 2002).

4.6.4 Manejo de sistemas de atmósfera modificada y controlada

Los términos de atmósfera modificada (AM) o atmósfera controlada (AC) se aplican para la conservación de productos perecederos con remoción a adición de gases, resultando en una composición atmosférica que circunda al producto diferente a la del aire. Usualmente las AM/AC involucran una reducción de la concentración de O₂ y/o el aumento de la concentración de CO₂. Las AM y las AC difieren solamente en el grado de la precisión del control de la presión parcial del O₂ y CO₂, siendo más exacta en AC que en AM (Kader, 1985; Ospina y Cartagena, 2008).

La técnica de conservación en atmósfera modificada (AM) consiste en empacar los productos alimenticios en materiales con barrera a la difusión de los gases, en los cuales el ambiente gaseoso ha sido modificado para disminuir el grado de respiración, reducir el crecimiento microbiano y retrasar el deterioro enzimático con el propósito de alargar la vida útil del producto (Ospina y Cartagena, 2008).

Dependiendo de las exigencias del alimento a envasar, se requerirá una atmósfera con ambientes ricos en CO₂ y pobres en O₂ y en función de ésta, se elegirá el empaque o película de protección que también tendrá que ofrecer una transparencia que permita visualizar los productos y que brinde resistencia mecánica. En AM la composición gaseosa cambia continuamente durante todo el período de almacenamiento por la influencia de diferentes factores como la respiración del producto envasado, cambios bioquímicos y la lenta difusión de los gases a través del envase (Ospina y Cartagena, 2008).

Las AM usadas adecuadamente ofrecen los siguientes beneficios y ventajas (Cuadro 2):

Cuadro 2. Beneficios y ventajas del uso de las AM.

Beneficios	Ventajas
<ul style="list-style-type: none"> ° Frenan la actividad respiratoria ° Reducen o inhiben la síntesis de etileno ° Inhiben la maduración ° Limitan el ablandamiento ° Retrasan las pérdidas de textura ° Restringen los cambios de composición 	<ul style="list-style-type: none"> ° Reduce la velocidad de deterioro ° Prolonga la utilidad y calidad ° Retarda el desarrollo de microorganismos ° Minimiza el uso de aditivos y conservantes ° Se mantienen las características organolépticas durante la comercialización ° Se evitan las mezclas de olores en el sitio de almacenamiento ° Mejor presentación, clara visión del producto y visibilidad en todo el entorno ° No causa problemas ambientales ° Puede aumentar las ganancias de los productos. ° Reducción de desechos a nivel detallista.

Fuente: Ospina y Cartagena, 2008

4.6.4.1 Generación de atmósfera modificada pasiva

Después de ser cosechadas, las frutas y vegetales frescos continúan sus procesos metabólicos, consumen O_2 y producen CO_2 y vapor de agua. La modificación de la atmósfera alrededor del producto se lleva pasivamente por efecto de la respiración y permeabilidad de la película. Cuando el producto fresco es envasado, se llevan a cabo dos procesos simultáneos: la respiración del producto y la permeación de los gases a través de la película plástica (Ospina y Cartagena, 2008). El equilibrio de los gases en un sistema de atmósfera modificada pasiva y el establecimiento de la misma es basado en el proceso de respiración, resultando una disminución del O_2 y acumulación de CO_2 , además, el régimen estacionario (nivel estable) de los dos gases es determinado por el equilibrio entre la tasa respiratoria y las características de permeabilidad del material de empaque (Rodov *et al.*, 2007).

Cuando la velocidad de consumo de O_2 y producción de CO_2 es acompañada con un buen intercambio gaseoso de la película, es posible tener una AM adecuada para el producto. El equilibrio se logra después de determinado tiempo, dependiendo de los requerimientos del producto vegetal y permeabilidad, los cuales están en función de la temperatura y humedad relativa de almacenamiento. Cuando se alcanza el equilibrio pueden lograrse concentraciones alrededor del producto entre 2-5% de O_2 y 3-8% de CO_2 . Se ha observado que estas concentraciones son eficaces para ampliar la vida útil de una amplia gama de frutas y hortalizas retrasando los procesos de maduración y de senescencia, tales como degradación de la clorofila, ablandamiento, oscurecimiento enzimático y disminución de los síntomas de daño por frío (Ospina y Cartagena, 2008).

Si se elige una película de una adecuada permeabilidad intermedia, se establecerá una atmósfera modificada en equilibrio cuando las intensidades de transmisión del O_2 y del CO_2 a través del envase sean iguales a la intensidad de respiración del producto (Ospina y Cartagena, 2008).

4.6.4.2 Generación de atmósfera modificada activa

Se refiere a la incorporación de ciertos aditivos en la matriz del envase o dentro del envase para modificar la atmósfera dentro del mismo y prolongar la vida de anaquel del producto. Bajo esta definición, el envasado activo puede utilizar: absorbedores de O₂, absorbedores-liberadores de CO₂, liberadores de etanol y absorbedores de etileno. Esta tecnología es relativamente nueva, sin embargo los costos son más altos que para atmósfera modificada normal (Ospina y Cartagena, 2008).

4.6.4.3 Condiciones límite de operación de sistemas de AC/AM

Las concentraciones muy elevadas de CO₂ o muy bajas de O₂ producen cambios metabólicos y bioquímicos, especialmente en el tipo de respiración, cambiándola de aerobia a anaerobia. Bajo condiciones de anaerobiosis, la glucólisis reemplaza el ciclo de Krebs y la cadena terminal como suministro principal de energía para los tejidos; en la provisión energética anaerobia no ocurre la oxidación del ácido pirúvico, sino que este se descarboxila produciendo acetaldehído, CO₂ y finalmente etanol, lo que puede ocasionar el desarrollo de aromas y sabores indeseables, además de una descomposición del tejido por la oxidación de estos metabolitos cuando se llegan a acumular hasta niveles críticos (Kader, 1986).

4.6.4.4 Efecto de la baja y elevada concentración de O₂ y de CO₂

Una concentración inferior al 21 % de O₂ reduce la intensidad respiratoria y retrasa la aparición del climaterio. En una atmósfera donde la concentración de O₂ es reducida, la concentración excedente de CO₂ no puede provocar una fermentación si la concentración está por encima del Punto de Compensación Anaeróbica (PCA), a condición de que los frutos se mantengan a baja temperatura. El valor de este punto varía según los autores, pero este suele estar comprendido entre el 2 y 3 % de O₂; para otros autores este punto se encuentra a concentraciones de 1-2 % de O₂, incluso inferiores (Kader, 1997). Román y Yahia (2002) reportan como concentraciones adecuadas para el

almacenamiento de aguacates de 5-8 % de CO₂ y 3-5 % de O₂, mientras que Ascencio-Ochoa (2009) reporta como adecuado de 3-10 % CO₂ y 2-5 % de O₂, después del almacenamiento el fruto continúa con la maduración normal.

Los efectos de la reducción de O₂ en el metabolismo del fruto originan: a) reducción de la oxidación de los ácidos, b) reducción de la oxidación de la clorofila, c) reducción de la solubilidad de las pectinas, d) reducción de la producción de etileno y e) aumento del consumo de glúcidos por parte del fruto (Kader, 2002).

4.6.4.5 Tipos de empaçado y atmósferas modificadas

El término empaçado en atmósfera modificada "EAM" es genérico y puede ser modificado de acuerdo a la forma en la que se genera la atmósfera en el interior del empaçado o a las funciones adicionales que tenga el empaçado. El empaçado al vacío (EV) es la forma más sencilla del EAM y consiste en evacuar el aire del interior del empaçado (de nula o muy baja permeabilidad a los gases), previo a sellarlo. Esta evacuación causa que el empaçado colapse sobre el alimento y genera una presión gaseosa interna menor a la ambiental. El Empaçado en atmósfera modificada pasiva (EAMP), por su parte, se presenta cuando la respiración natural del producto ayuda a generar la atmósfera deseada. La concentración de gases en el interior del empaçado es variable respecto al tiempo, hasta alcanzar condiciones de pseudoequilibrio, y está determinada por el espacio libre dentro del empaçado, la permeabilidad del empaçado y la velocidad de respiración del alimento. En cambio, en el empaçado en atmósfera modificada semiactiva (EAMSA) se evacúa el aire del interior del empaçado y luego se inyecta el gas o la mezcla de gases requerida. Esto reduce el tiempo requerido para alcanzar las condiciones de pseudoequilibrio y, por tanto, el producto permanece en condiciones óptimas por un tiempo mayor. Mientras tanto, la característica principal del empaçado en atmósferas modificadas activas (EAMA) es que el mismo empaçado incluye modificadores atmosféricos, como adsorbentes/liberadores de gases y diversos compuestos. Muchos de los empaçados utilizados en el EAMA proporcionan información sobre las

condiciones en las cuales se ha mantenido el alimento o desempeñan funciones especiales, a esta variante se le conoce como empaçado inteligente (EI) (Ornelas-Paz *et al.*, 2009).

4.6.4.6 Uso de microperforado en atmósferas modificadas

El empaçado en atmósferas modificadas es una tecnología que consiste en mantener el alimento dentro de un empaque, el cual contiene una atmósfera de composición gaseosa diferente a la del aire. Las barreras (empaque) que limitan el flujo de estos gases son, por lo general, películas plásticas flexibles de diversos materiales. En el mundo moderno, las películas para empaçado requeridas transmiten los gases a través de ellas (permeación), las cuales son hechas por medio de tecnología avanzada de microperforado (Ornelas-Paz *et al.*, 2009).

Para el empaçado de productos fresco en AM los polímeros que se manejan son: polivinilo clorhídrico (PVC), polietileno tereftalato (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE). El poliestireno ha sido usado pero el polivinileno, el poliéster y el nylon tienen más baja permeabilidad a los gases que ellos, pudiendo ser usados sólo para comodidad con bajos niveles de respiración (Mangaraj *et al.*, 2009).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Material vegetal y caracterización general. Se utilizaron frutos de aguacate cultivar Hass provenientes de Uruapan, Michoacán, los cuales fueron cosechados en madurez fisiológica. Una vez trasladados al Departamento de Ingeniería Agroindustrial y después de un día de haber sido cosechados, fueron acondicionados con un lavado y una desinfección con hipoclorito de sodio a una concentración de 1000 ppm (0.1%). Posteriormente, fueron secados, pesados y distribuidos de acuerdo al arreglo experimental definido (Figura 3).

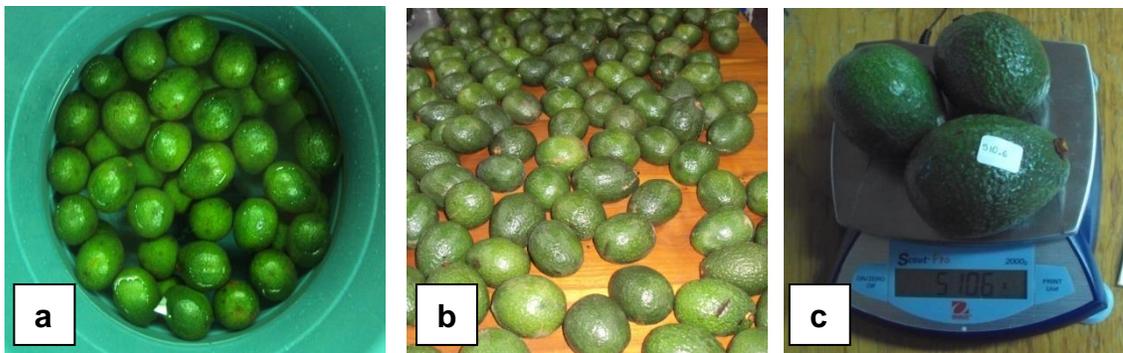


Figura 3. a) lavado y desinfección con hipoclorito de sodio, b) secado al ambiente y c) pesado de frutos de aguacate 'Hass'.

5.2 Estructura general de la investigación. Se realizaron dos fases de investigación; en la primera, se probó el efecto de diferentes intensidades de microperforación, en envases rígidos de polietileno tereftalato (PET), sobre las condiciones de operación de un sistema de atmósfera modificada para almacenar frutos de aguacate 'Hass'. De esta, se seleccionaron los sistemas que ofrecieron las condiciones para el manejo del fruto, los cuales fueron usados en la siguiente fase. En la segunda fase, se envasaron lotes de frutos en envases microperforados de PET y se evaluó el efecto sobre el comportamiento postcosecha y su vida útil. Ambas fases fueron desarrolladas a temperatura ambiente y de refrigeración.

5.2.1 Fase uno de investigación.

Evaluación del efecto del microperforado sobre las condiciones de operación de una AM

Se usaron envases de PET de 1.87 L de capacidad con paredes y tapas impermeables a gases, los cuales fueron perfectamente sellados y adecuados con microperforaciones y puertos de monitoreo para las diferentes tomas de concentración interna de gases (Figura 4). Se formaron seis lotes de cinco envases cada uno, que se denominaron M₀, M₂, M₄, M₆, M₈. A los envases del lote M₈ se les realizaron 8 microperforaciones con un alfiler de 200 µm; a los del lote M₆ se les hicieron 6 microperforaciones; los del lote M₄ se prepararon con 4 microperforaciones, los del lote M₂ con dos microperforaciones y los del lote M₀ se dejaron intactos, sin ninguna perforación. Posteriormente se introdujo un lote de 550 ± 34.2 g de aguacate a cada recipiente. Tres envases de cada nivel de perforación se colocaron a temperatura ambiente (18 ± 3 °C) y los tres restantes se colocaron a 5 ± 2 °C, donde permanecieron abiertos al ambiente por 5 horas para alcanzar un acondicionamiento térmico (Figura 5). Al cabo de ese tiempo se cerraron herméticamente y, a partir de entonces, se realizó el monitoreo de las concentraciones de O₂ y CO₂ del interior a intervalos de 4 h en ambas temperaturas hasta régimen estacionario, es decir, durante 48 horas. La colecta de los gases se realizó en tubos Vacutainer® de 10 mL de capacidad, por medio de inyección con jeringa Plastipak®, y posteriormente se determinaron las concentraciones internas por medio de cromatografía de gases para calcular la de los recipientes.

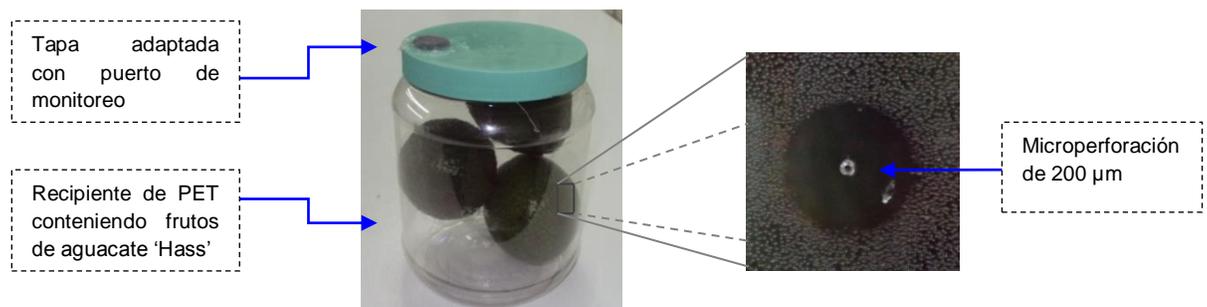


Figura 4. Representación de la unidad experimental y características que la conforman (frutos, recipiente, tapa, puerto de monitoreo y microperforaciones)

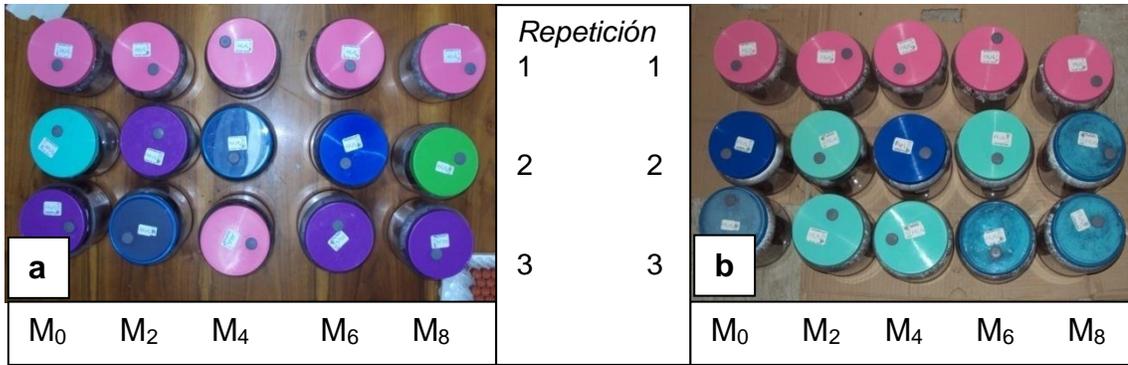


Figura 5. Unidades experimentales a (a) temperatura ambiente ($18 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$) y en (b) refrigeración ($5 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) con los niveles de microperforado por triplicado.

Una vez determinada la concentración de O_2 y CO_2 de cada envase, se construyeron gráficas de cinética de cambio de concentración a través del tiempo y se sometieron a rutinas de regresión no lineal para ajustarlos a un modelo con el formato presentado en la Ecuación (1):

$$y_{\text{O}_2/\text{CO}_2} = y_{\text{O}_2/\text{CO}_2}^0 + a[1 - \exp(-bt)] \quad (1)$$

donde; $y_{\text{O}_2/\text{CO}_2}$ es la concentración de O_2 o CO_2 (%) dentro del envase plástico a un tiempo t (h), $y_{\text{O}_2/\text{CO}_2}^0$ es la concentración inicial de los gases (%) y a (%) y b (h^{-1}) son constantes características. De acuerdo con el criterio definido por Valle-Guadarrama *et al.* (2002), la suma de los parámetros $y_{\text{O}_2/\text{CO}_2}^0$ y a corresponde a la asíntota de la gráfica de cinética de cambio de concentración, que corresponde a la concentración de CO_2 y O_2 , correspondientemente, instalada dentro del envase a través del tiempo (y_∞).

Como variables respuesta de esta fase, se tomaron las concentraciones instaladas de O_2 y CO_2 en el interior de los recipientes.

5.2.2 Análisis de datos de la fase uno

En esta fase se tuvieron dos fuentes de variación, la temperatura con dos niveles (18 ± 3 y 5 ± 2 °C) y el microperforado de los envases con cinco niveles (0, 2, 4, 6 y 8), lo que dio como resultado 10 tratamientos diferentes (Cuadro 3).

Cuadro 3. Diseño de tratamientos de la primera fase experimental, con dos niveles en la temperatura y cinco en el microperforado de envases.

Factor	Niveles	Combinación de tratamientos	Tratamientos	Descripción del tratamiento
Temperatura	0, 1	0, 0	T1	Ambiente con 0 microperforaciones ^a
Microperforado	0, 1, 2, 3, 4	0, 1	T2	Ambiente con 2 microperforaciones
		0, 2	T3	Ambiente con 4 microperforaciones
		0, 3	T4	Ambiente con 6 microperforaciones
		0, 4	T5	Ambiente con 8 microperforaciones
		1, 0	T6	Refrigeración con 0 microperforaciones
		1, 1	T7	Refrigeración con 2 microperforaciones
		1, 2	T8	Refrigeración con 4 microperforaciones
		1, 3	T9	Refrigeración con 6 microperforaciones
		1, 4	T10	Refrigeración con 8 microperforaciones

^a Microperforaciones de 200 µm realizadas al recipiente de PET

Los resultados se analizaron como un arreglo factorial 2x5 alojado en un diseño completamente al azar, cuyo modelo estadístico expresa que:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + e_{ijk}$$

donde; y_{ijk} es el valor de la variable respuesta en la k-ésima unidad experimental bajo el efecto de la combinación de tratamientos ij ; μ es la media general de la variable respuesta; α_i es el factor temperatura; β_j es el factor

microperforación; $(\alpha\beta)_{ij}$ es el efecto de la interacción de los dos factores, y e_{ijk} es el error experimental aleatorio bajo el supuesto que $e_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$, con σ^2 constante.

Se realizaron análisis de varianza y pruebas de comparación de medias (Tukey, 0.05) mediante el programas SAS (SAS Institute, 2002). La unidad experimental fue un envase con 550 ± 34.2 g de aguacates y los tratamientos se aplicaron con tres repeticiones. Finalmente, entre los distintos tratamientos se eligió aquel que permitió una concentración de O_2 entre 2 y 5 % y CO_2 cercano al 5 y 10 %, el gas determinante fue el O_2 .

5.2.3 Fase dos de investigación

Evaluación del efecto del microperforado sobre la vida de anaquel y el metabolismo fermentativo en aguacate.

Se evaluó el comportamiento fisiológico de frutos de aguacate ‘Hass’ en atmósfera modificada (AM) basada en microperforado a temperatura ambiente (18 ± 3 °C) y en refrigeración 5 ± 1 °C. Se formaron 96 lotes de frutos de 547.63 ± 42.01 g cada uno. De estos lotes, 48 se colocaron individualmente en el interior de envases de 1.87 L con el grado de microperforación seleccionado en la fase anterior de investigación (M_2 para refrigeración y M_4 para ambiente). Los envases se cerraron herméticamente y permitieron la evaluación periódica de los frutos en un ambiente de atmósfera modificada (AM). Los 48 lotes restantes se destinaron a un almacenamiento en aire natural (AN) por lo que los lotes se introdujeron dentro de cada recipiente, expuestos al aire (sin tapa), y su evaluación se aparejó a la de los lotes de AM. Cada lote se consideró una unidad experimental (UE).

Del total de los lotes, 24 de los colocados en AM (envase con M_4) y 24 de los mantenidos en aire normal (AN) fueron puestos a temperatura ambiente (Figura 6, a). Asimismo, los 24 restantes en AM (envase con M_2) y los 24 de AN fueron puestos en el cuarto de refrigeración (Figura 6, b).

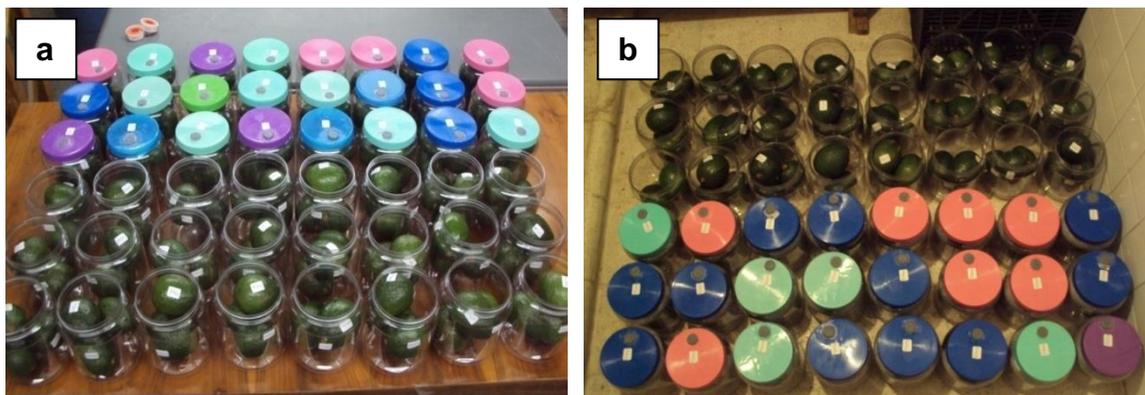


Figura 6. Unidades experimentales colocadas a) al ambiente [AM con tapa y AN sin tapa] y b) en refrigeración [AM con tapa y AN sin tapa].

Para el registro de datos, el día de la cosecha se denotó como tiempo cero (0 d) y el día de instalación del experimento como tiempo uno (1 d). El manejo de la condición ambiente se realizó en la forma siguiente: en el tiempo uno (d) se retiraron tres UE de los lotes de AM y tres de los lotes de AN para realizar la evaluación de peso, tasa respiratoria, color y firmeza. Asimismo, se tomaron muestras de cada unidad para realizar, posteriormente, mediciones en pulpa de acidez titulable, pH, contenido de sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix) y contenido de metabolitos anaerobios (acetaldehído y etanol). Para el caso de metabolitos anaerobios se tomaron muestras de 5 g de pulpa de cada UE, fueron picadas finamente y depositadas en viales de 25 mL, selladas, congeladas y almacenadas a -18°C hasta su medición en cromatografía de gases (Figura 7). Esta misma rutina de evaluación se repitió a los 4, 7, 10, 13, 16, 19 y 21 días, con nuevo material retirado en cada momento. Antes de abrir cada recipiente, se tomó una muestra del contenido gaseoso para evaluar las concentraciones prevaletentes de O_2 y de CO_2 . El manejo de la condición de refrigeración se realizó en forma semejante, con la diferencia de que los muestreos se hicieron a los 1, 4, 8, 12, 16, 20, 24 y 28 días.

Esta distribución significa que se tuvieron dos fuentes de variación, la temperatura (ambiente y refrigeración) y el tipo de atmósfera (AM y AN).



Figura 7. Muestras de pulpa de aguacate de cada UE, depositadas en viales de cristal sellados, listas para congelación y determinación posterior de metabolitos anaerobios.

5.2.4 Análisis de resultados de la fase dos

En esta fase se tuvieron dos fuentes de variación, la temperatura con dos niveles (5 ± 1 y 18 ± 3 °C) y el tipo de atmosfera circundante al fruto (Atmósfera Modificada “AM” y Aire Natural “AN”), lo que dio como resultado 4 tratamientos diferentes (Cuadro 4).

Cuadro 4. Combinación de tratamientos de la segunda fase experimental, con dos niveles en la temperatura y dos en el tipo de atmósfera circundante.

Factor	Niveles	Combinación de tratamientos	Tratamientos	Descripción del almacenamiento
Temperatura	0, 1	0, 0	T1 = AAN	Ambiente con aire natural
Atmosfera	0, 1	0, 1	T2 = AAM	Ambiente con atmósfera modificada
		1, 0	T3 = RAN	Refrigeración con aire natural
		1, 1	T4 = RAN	Refrigeración con atmósfera modificada

Los resultados se analizaron como un arreglo factorial 2x2 alojado en un diseño completamente al azar, cuyo modelo estadístico expresa que:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + e_{ijk}$$

donde; y_{ijk} es el valor de la variable respuesta en la k-ésima unidad experimental bajo el efecto de la combinación de tratamientos ij ; μ es la media general de la variable respuesta; α_i es el factor temperatura; β_j es el microperforación; $(\alpha\beta)_{ij}$ es el efecto de la interacción de los dos factores, y e_{ijk} es el error experimental aleatorio bajo el supuesto que $e_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$, con σ^2 constante.

Se realizaron análisis de varianza y pruebas de comparación de medias (Tukey, 0.05) mediante el programas SAS (SAS Institute, 2002). La unidad experimental fue un envase con 547.63 ± 42.01 g de frutos y los tratamientos se aplicaron con tres repeticiones.

5.3 Metodologías de evaluación de variables respuesta

5.3.1 Pérdida de Peso

Para medir la pérdida de peso en los frutos de aguacate se utilizó una balanza digital portátil (Ohaus, modelo Scout-Pro, USA) (Figura 3, c). Se calculó el porcentaje de peso perdido respecto al peso inicial mediante la Ecuación (2):

$$\%PP = \frac{Pi - Pf}{Pi} \times 100 \quad \text{Ec. (2)}$$

donde; $\%PP$ fue la pérdida de peso (%), Pi el peso inicial y Pf el peso final al momento de la evaluación (Martínez-Flores *et al.*, 2008).

5.3.2 Color

El color de la cáscara se midió realizando lecturas sobre la superficie del fruto por medio de un colorímetro (Hunter Lab, Mini Scan XE Plus No. 45/0-L) (Figura 8) a través de las variables L^* , a^* y b^* , que fueron la base para determinar la luminosidad (L^*), la pureza del color o cromaticidad ($\sqrt{(a^*)^2+(b^*)^2}$), y el ángulo de tono o matiz (Hue) mediante la expresión ($\tan^{-1} \frac{a^*}{b^*}$) (Mc Guire, 1992; Hutchings, 1999).



Figura 8. Determinación de las variables L^* , a^* y b^* por medio del colorímetro Hunter Lab.

5.3.3 Firmeza

La firmeza, en Newtons (N), se expresó como el promedio de tres determinaciones en sitios diferentes de cada uno de los frutos de cada unidad experimental. El equipo utilizado fue un analizador de textura (Stable Micro Systems, UK, modelo TA-XT2i) con un accesorio esférico en una rutina de penetrometría (Figura 9), donde se empleó distancia de penetración de 2.5 mm y velocidad de ensayo de $3 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$.

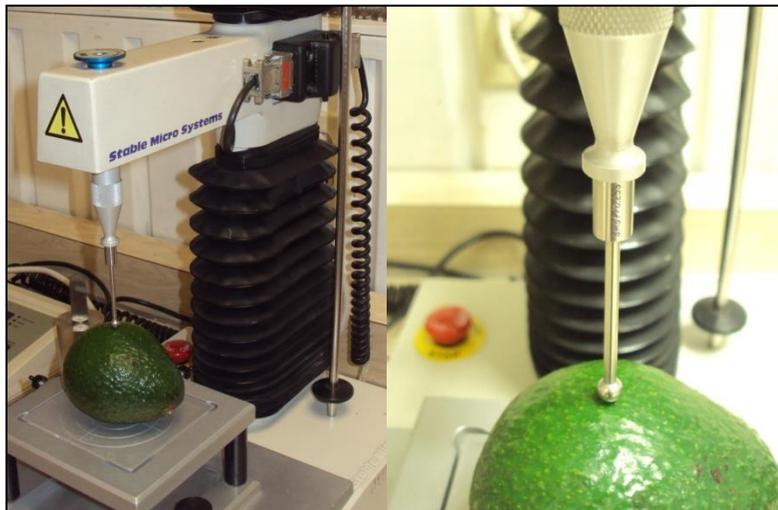


Figura 9. Evaluación de la firmeza en aguacate 'Hass' por medio de un analizador de textura con accesorio esférico y punta esférica en una rutina de penetrometría.

5.3.4 Concentraciones de O₂ y CO₂

Las concentraciones de O₂ y CO₂ fueron evaluadas con un cromatógrafo de gases (Varian® modelo Star 3400CX, USA) con columna capilar Chrompack® con capa porosa de sílica (PLOT) y fase estacionarias poraplot Q, detector de conductividad térmica (TCD) y detector por ionización de flama (FID), donde se usaron temperaturas de 80°C en la columna, 150°C en el Inyector y 170°C en el auxiliar y detector, con una presión de cabeza en la columna de 28 psi (Figura 10, a).

Para las determinaciones de las concentraciones de los gases se tomaron alícuotas de 500 µL directamente del tubo Vacutainer®, donde se habían almacenado previamente, por medio de una jeringa de vidrio (Hamilton®) y se inyectaron al cromatógrafo.

Para el auxilio de las determinaciones se prepararon previamente curvas tipo con estándares específicos para cada compuesto (Figura 11), utilizando estándares primarios de alta pureza de Praxair de México S.A. de C.V. Así

también, se identificaron los tiempos de para cada compuesto, resultando de 2.3 min para O₂ y de 2.6 min para CO₂.

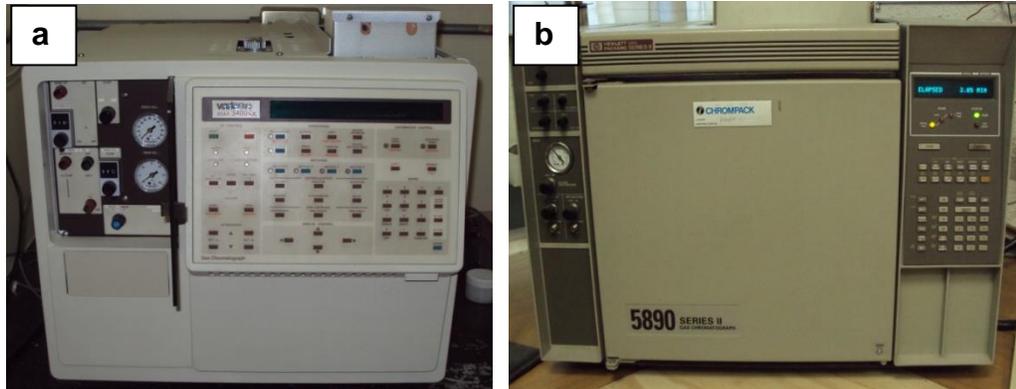


Figura 10. Cromatógrafo de gases Varian® modelo Star 3400CX (a) y cromatógrafo de gases Hewlett Packard® modelo 5890 Serie II (b).

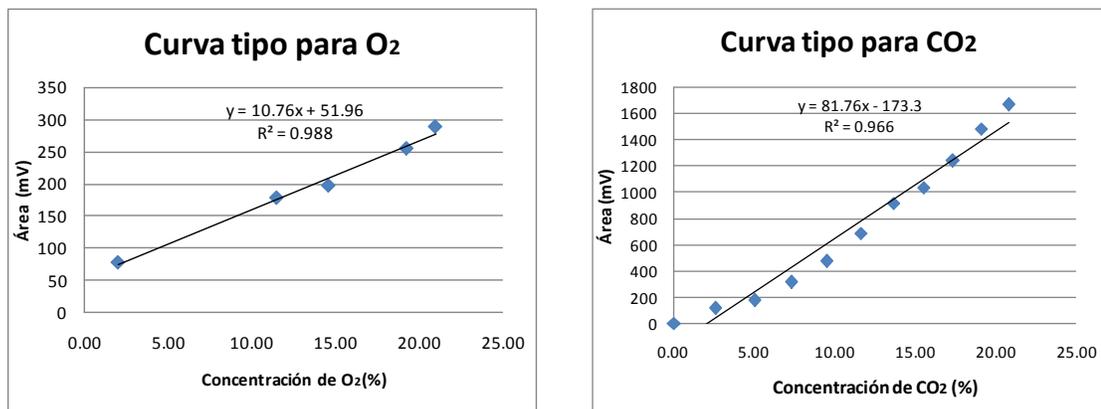


Figura 11. Curva tipo para cuantificación de oxígeno y dióxido de carbono.

5.3.5 Metabolitos anaerobios

Las concentraciones de acetaldehído y etanol se evaluaron con un cromatógrafo de gases (Hewlett Packard®, modelo 5890 Serie II) con columna capilar Chrompack® tipo abierta con capa porosa de sílica fundida (PLOT) y fase estacionaria poraplot Q, y un detector de ionización de flama (FID), donde se usaron temperaturas de 150 °C, 170 °C y 180 °C en la columna, inyector y detector, respectivamente; la presión de cabeza en la columna fue de 10 psi (Figura 10, b).

El método de trabajo para acetaldehído y etanol se apoyó en el procedimiento descrito por Davis y Chase (1969) conocido como espacio de cabeza “Head Space”. Para ello, las muestras almacenadas en viales fueron descongeladas a temperatura ambiente y sometidas a calentamiento en baño maría a 35 °C por 10 minutos cada una, después fue tomada una alícuota de 1mL con jeringa para insulina e inyectada al cromatógrafo de gases.

Para determinar las concentraciones, previamente se elaboraron curvas tipo con muestras estándar para acetaldehído y etanol (Figura 12), donde se identificaron también los tiempos de retención, resultando de 3.89 min para el primero y 5.14 min para el segundo. El tiempo de corrida fue de 6 minutos. Finalmente las producciones de ambos volátiles fueron sumadas y se expresaron como producción de metabolitos anaerobios ($\text{mg} \cdot 100^{-1} \text{g}^{-1}$).

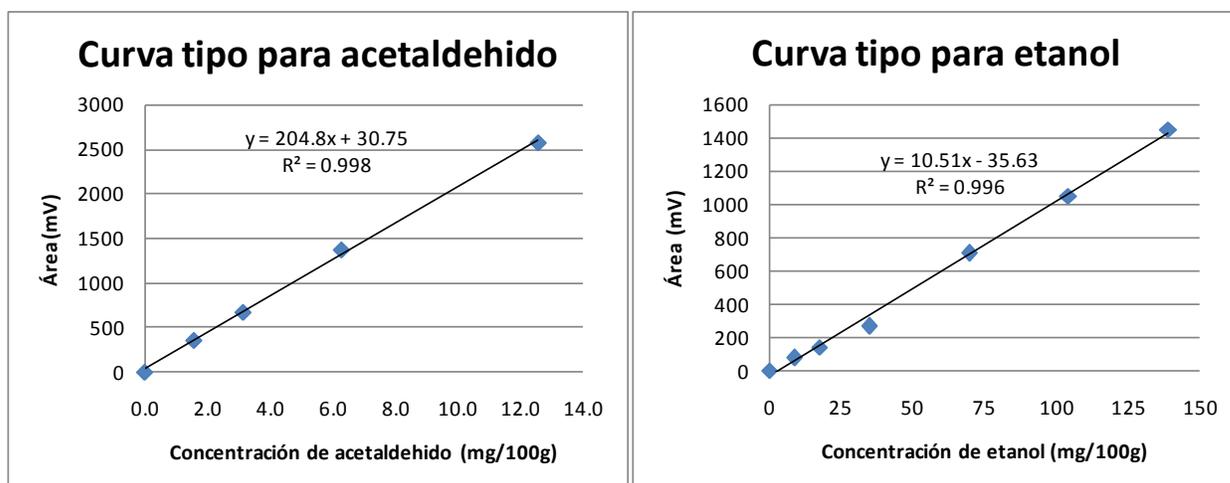


Figura 12. Curva tipo para cuantificación de etanol y acetaldehído.

5.3.6 pH

El pH se determinó por medio de un potenciómetro portátil (Hanna Instruments, USA). Se tomó una muestra de 20 g de fruta y se licuó con 100 mL de agua destilada hasta obtener un producto homogéneo y libre de grumos (AOAC, 1990). El pH se midió directamente en la mezcla resultante (Figura 13).



Figura 13. Determinación de pH por medio de potenciómetro portátil.

5.3.7 Acidez titulable

Una vez realizado el procedimiento para medición del pH, a la mezcla resultante se le midió el volumen total, se filtró, de él se obtuvo una alícuota de 10 mL y se tituló con NaOH (0.1 N) usando como indicador Fenofaleína (Figura 14) (AOAC, 1990). La acidez se calculó con la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de acidez} = \frac{mL \text{ NaOH} * N * \text{Meq. Ác.} * V * 100}{PM * A}$$

donde;

mL NaOH = Volumen en mL de NaOH gastado

N = Normalidad del NaOH (0.1)

Meq. Ác. = Miliequivalentes del ácido (ácido málico=0.067)

V = Volumen del licuado

PM = Peso de la muestra (20 g)

A = Alícuota (10 mL)



Figura 14. Rutina de titulación para determinar acidez titulable.

5.3.8 Sólidos solubles totales (SST)

Los sólidos solubles totales fueron determinados por medio de un refractómetro (Marca Atago, Modelo Pocket Pal-3) con escala de 0 a 93% (Figura 15). Para ello, se extrajo jugo de las muestras de aguacate por medio de compresión de la pulpa y se midió directamente por medio del refractómetro (AOAC, 1990). Los resultados fueron expresados en unidades de °Brix.



Figura 15. Determinación de SST por medio de refractometría.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Fase uno de investigación

6.1.1 Efecto del microperforado sobre las condiciones de operación de una AM

En esta fase de investigación se observó que las concentraciones de CO_2 y O_2 al interior de los recipientes con y sin microperforaciones conteniendo frutos de aguacate 'Hass' se modificaron al paso del tiempo desde un régimen transitorio hasta llegar a un régimen estacionario, esto en ambos tipos de almacenamiento (temperatura ambiente y refrigeración) (Figura 16 y 17). Se observó que las concentraciones en los recipientes fueron proporcionales al nivel de microperforado y a la temperatura de almacenamiento: para O_2 , a mayor microperforado mayor concentración interna, siendo más alta en refrigeración que a temperatura ambiente; para CO_2 , a mayor microperforado menor concentración interna, resultando más alta a temperatura ambiente que en refrigeración (Cuadro 5 y 6). Debido a que las unidades experimentales se manejaron en atmósfera modificada pasiva, las concentraciones de O_2 y CO_2 variaron a través del tiempo, lo que describió un comportamiento no lineal y congruente con el modelo establecido en la Ecuación (1) (Figura 16 y 17).

Los tratamientos de almacenamiento en recipiente intacto y recipiente con dos microperforaciones a temperatura ambiente (T1 y T2, respectivamente) y recipiente intacto en refrigeración (T6), presentaron una rápida disminución de la concentración de O_2 y lenta acumulación de CO_2 en la atmósfera (Figura 16 y 17), al grado de que la concentración de oxígeno se mantuvo por debajo del recomendado para aguacate por Román y Yahia (2002) y Ascencio-Ochoa (2009) de 2-5 % y la de dióxido de carbono muy por arriba del recomendado por los mismos autores, que es de 5-10 % (Cuadro 5). Lo anterior sugiere que

ninguno de estos tratamientos constituye una condición adecuada de atmósfera modificada para almacenar frutos de aguacate, ya que ante la baja disponibilidad de O_2 la respiración cambia de aerobia a anaerobia y se produce un mecanismo fermentativo para la producción de energía para las distintas actividades metabólicas, lo que trae como consecuencia producción de compuestos dañinos a los tejidos como son el acetaldehído y etanol (Taiz y Zeiger, 1998; Rodov, 2007).

Contrario a lo expuesto en el párrafo anterior, los tratamientos T4, T5, T8, T9 y T10 presentaron los más lentos decrementos de las concentraciones de O_2 y rápidos incrementos de CO_2 en la atmósfera (Figura 16 y 17), así también, estas concentraciones fueron superiores a las recomendadas por Román y Yahia (2002) y Ascencio-Ochoa (2009), como resultado del efecto del nivel de microperforado y las temperaturas usadas. Debido a que la atmósfera óptima para almacenar un producto determinado es aquella que reduce al máximo la actividad respiratoria y los procesos de deterioro y como beneficio incrementa al máximo la vida de anaquel (Rodríguez-Félix *et al.*, 2005), se pueden determinar que las atmósferas resultantes de los tratamientos antes mencionados no son las más adecuadas para el manejo de aguacate, ya que las concentraciones obtenidas no reducen al máximo la actividad respiratoria y los procesos de deterioro, puesto que no se encuentran dentro del rango especificado para almacenamiento de aguacate 'Hass' (O_2 :2-5 %, CO_2 :5-10 %).

Finalmente, el tratamiento de almacenamiento al ambiente con cuatro microperforaciones (T3) presentó una velocidad intermedia, entre los diferentes tratamientos, en la disminución de la concentración de O_2 y aumento de la de CO_2 en la atmósfera (Figura 16), alcanzando un 3.53 % para el primero y un 20.99 % para el segundo al llegar al régimen estacionario. Para el caso del tratamiento de almacenamiento en refrigeración con dos microperforaciones (T7), este presentó una velocidad relativamente rápida en la disminución de la concentración de O_2 y aumento de la de CO_2 (Figura 17), siendo de 4.07 % y 15.35% respectivamente, al llegar al régimen estacionario.

Como se puede observar, las concentraciones de oxígeno en la atmósfera modificada de los tratamientos T3 y T7 se encuentran dentro del rango óptimo recomendado por Román y Yahia (2002) y Ascencio-Ochoa (2009) y sugiere que los aguacates almacenados bajo esta condición de oxígeno reducirá al máximo la tasa respiratoria y los procesos de deterioro y un aumento en la vida de anaquel, tal como lo menciona Rodríguez-Félix *et al.* (2005). En este mismo sentido, Valle-Guadarrama *et al.* (2004) mencionan que para aguacate, un manejo apenas por arriba de la tolerancia de O₂ es recomendable para minimizar tanto la actividad respiratoria como el eventual desarrollo fermentativo que puede producirse por la exposición a la baja disponibilidad de este gas. En el caso de la concentración de dióxido de carbono, ambos tratamientos se ubican por encima del intervalo óptimo sugerido (5-10 %) e intermedio entre todos los tratamientos, sin embargo, ninguno de los tratamientos manejados en el presente trabajo produjo la concentración recomendada, ya que todos los tratamientos proporcionaron concentraciones de CO₂ entre 10.27 % y 28.98 %.

El Cuadro 5 muestra las constantes de regresión asociadas a la Ecuación (1), las cuales fueron utilizadas para el cálculo de las concentraciones finales alcanzadas en régimen estacionario. Para el análisis de varianza (Cuadro 6) se utilizaron exclusivamente estas concentraciones, y este mostró diferencia estadística ($p \leq 0.05$) para ambos gases debido al efecto del nivel de microperforado, a la temperatura y la interacción de ambas.

Del mismo modo, se presenta el cuadro 7, donde se observa la comparación de medias de concentraciones obtenidas de O₂ y CO₂ en las atmósferas modificadas debido al efecto de la interacción entre ambos factores, el cual muestra que las concentraciones obtenidas, en su mayoría, si son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$).

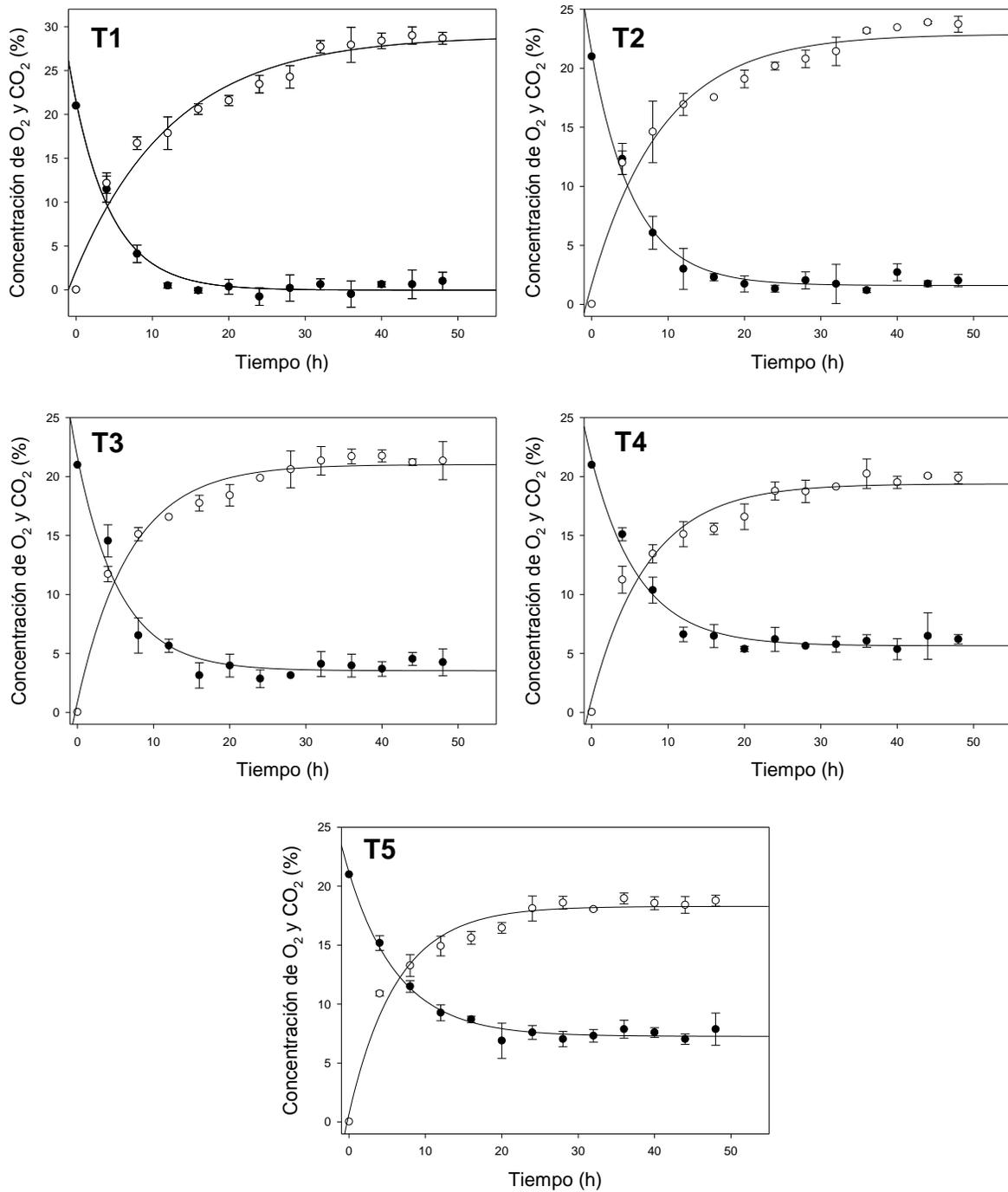


Figura 16. Cinética de cambio de concentración de O₂ (●) y CO₂ (○), a temperatura ambiente (18 ± 3 °C), al interior de recipientes de PET intactos (T1), con dos microperforaciones (T2), cuatro microperforaciones (T3), seis microperforaciones (T4) y ocho microperforaciones (T5), conteniendo frutos de aguacate 'Hass'. Los símbolos puntuales representan la media de tres repeticiones, las barras representan el error estándar y las líneas continuas el ajuste de los mismos utilizando un procedimiento de regresión no lineal.

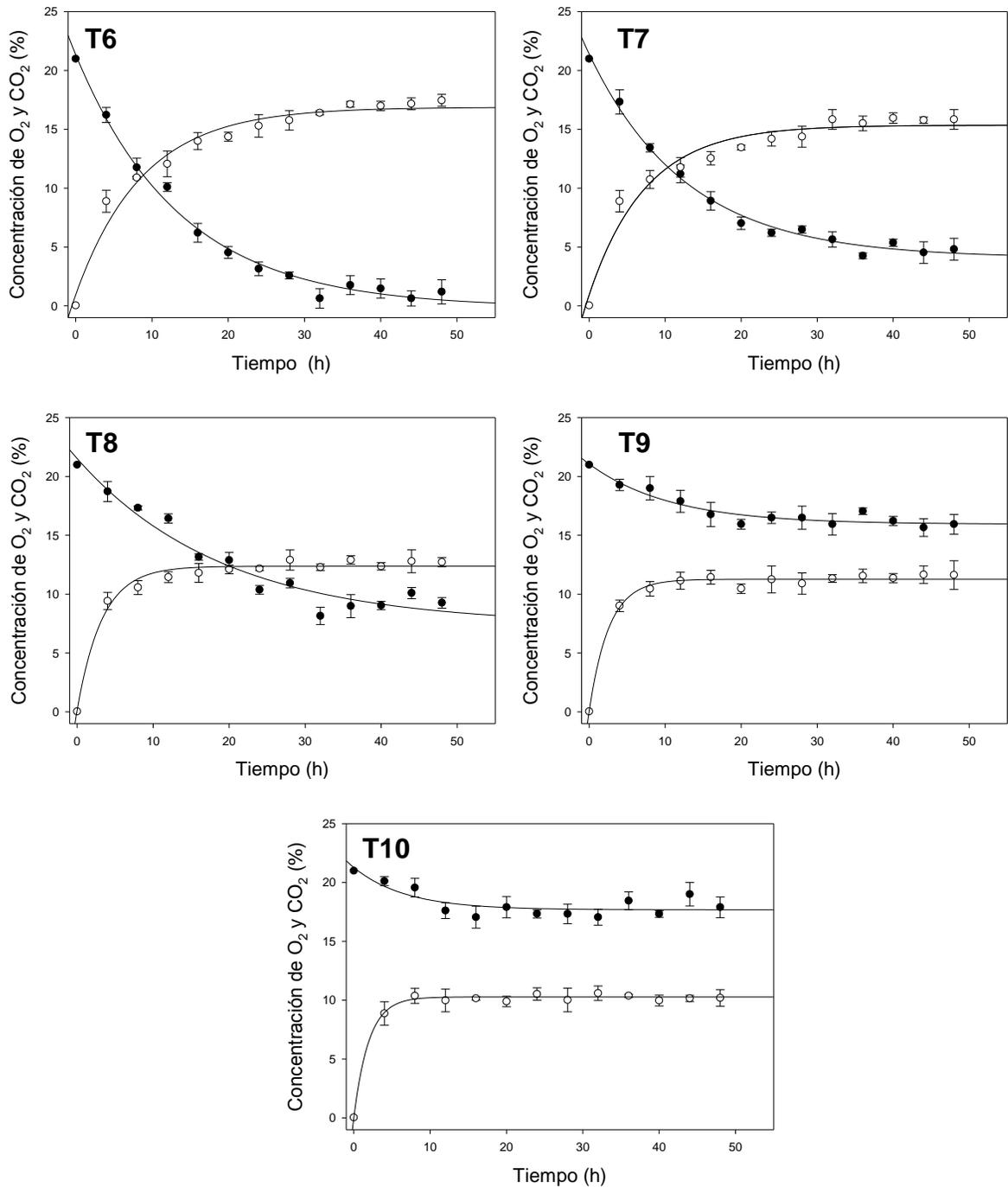


Figura 17. Cinética de cambio de concentración de O₂ (●) y CO₂ (○), en refrigeración (5 ± 2 °C), al interior de recipientes de PET intactos (T6), con dos microperforaciones (T7), cuatro microperforaciones (T8), seis microperforaciones (T9) y ocho microperforaciones (T10), conteniendo frutos de aguacate 'Hass'. Los símbolos puntuales representan la media de tres repeticiones, las barras representan el error estándar y las líneas continuas el ajuste de los mismos utilizando un procedimiento de regresión no lineal.

Cuadro 5. Constantes de regresión asociadas a la Ecuación (1) para cálculo de las concentraciones instaladas de O₂ y CO₂ al interior de los recipientes de PET conteniendo frutos de aguacate ‘Hass’ almacenados a temperatura ambiente y refrigeración. Cada valor representa el promedio de tres repeticiones.

Microperforado ^a	$y_0_{O_2}$	a_{O_2}	b_{O_2}	y_{O_2}	R^2	$y_0_{CO_2}$	a_{CO_2}	b_{CO_2}	y_{CO_2}	R^2
Ambiente										
M₀	-0.0230	21.5278	0.1966	0	0.9605	2.1940	26.7882	0.0778	28.98	0.9544
M₂	1.6015	19.7564	0.1808	1.75	0.9668	1.6858	21.1978	0.1070	22.88	0.9426
M₄	3.5336	18.0949	0.1787	3.70	0.9427	0.9088	20.1080	0.1445	20.99	0.9611
M₆	5.6487	15.8109	0.1616	5.80	0.9553	1.1385	18.2426	0.1353	19.38	0.9455
M₈	7.2649	13.9033	0.1531	7.41	0.9602	0.7135	17.5718	0.1605	18.28	0.9654
Refrigeración										
M₀	-0.1497	21.4927	0.0729	0	0.9841	2.1940	26.7882	0.0778	16.87	0.9655
M₂	4.0726	17.3289	0.0782	4.14	0.9831	1.6858	21.1978	0.1070	15.35	0.9471
M₄	7.3828	14.1403	0.0519	7.43	0.9419	0.9088	20.1080	0.1445	12.37	0.9674
M₆	15.9437	5.1161	0.0926	16.03	0.8186	1.1385	18.2426	0.1353	11.27	0.9572
M₈	17.6796	3.5916	0.1469	17.81	0.6230	0.7135	17.5718	0.1605	10.27	0.9526

^a M₀= recipiente intacto, M₂= recipiente con dos microperforaciones, M₄= recipiente con cuatro microperforaciones; M₆= recipientes con seis microperforaciones y M₈= recipientes con ocho microperforaciones.

Cuadro 6. Análisis de varianza para concentraciones instaladas de CO₂ y O₂ en AM modificada (efecto de los factores temperatura y microperforado)

Factor	Grados de libertad	F-valor	Pr>F	R ² [‡]	C.V. [‡]
O₂					
Temperatura (T)	1	10973	< 0.0001 [†]	0.9996	2.23
Microperforado (M)	4	8476	< 0.0001 [†]		
T*M	4	1717	< 0.0001 [†]		
DHS [¶]		0.24			
CO₂					
Temperatura (T)	1	9657	< 0.0001 [†]	0.9986	1.4
Microperforado (M)	4	1169	< 0.0001 [†]		
T*M	4	83	< 0.0001 [†]		
DHS [¶]		0.43			

[‡]R²=Estadístico de ajuste del modelo; [‡]C.V.=Coeficiente de variación (%); [¶]DSH=Diferencia honesta significativa; [†] Estadísticamente significativa

Cuadro 7. Comparación de medias de concentraciones instaladas de O₂ y CO₂ en atmósfera modificada, conteniendo frutos de aguacate ‘Hass’. Efecto de la interacción de la temperatura de almacenamiento y el grado de microperforado.

Factor temperatura	Factor número de microperforaciones				
	0	2	4	6	8
			O₂		
Ambiente	0 (a)	1.75 (b)	3.70 (c)	5.80 (d)	7.41 (e)
Refrigeración	0 (a)	4.14 (f)	7.43(e)	16.03 (g)	17.81 (h)
DHS [¶]			0.24		
			CO₂		
Ambiente	28.98 (a)	22.88 (b)	20.99 (c)	19.38 (d)	18.28 (e)
Refrigeración	16.87 (f)	15.35 (g)	12.37 (h)	11.27 (i)	10.27 (j)
DHS [¶]			0.43		

[¶]DSH=Diferencia honesta significativa. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05). Los valores representan la concentración de los gases en AM en régimen estacionario, expresadas en porcentaje (v/v).

Una vez realizado el análisis de varianza y la comparación de medias se puede establecer entonces que la temperatura de almacenamiento y el nivel de microperforado si tienen efecto sobre la concentración final de O₂ y CO₂ en la atmósfera modificada resultante (existe diferencias entre los efectos de los tratamientos, p≤0.05). Por lo tanto, para el caso de O₂ se observa que existe menor concentración en la atmósfera a menor microperforado y a mayor temperatura y para CO₂ mayor concentración a menor microperforado y a mayor temperatura. Por lo anterior, la temperatura también juega un papel importante y queda demostrado que a menor temperatura el proceso de respiración ocurre más lentamente y viceversa, lo que coincide con lo descrito por Ares *et al.* (2007). El comportamiento observado en la presente investigación fue congruente con lo señalado por Renault *et al.* (1994), quienes mencionan que el equilibrio de las concentraciones internas de la atmósfera modificada es dependiente del número de perforaciones y de la temperatura de almacenamiento, además, mencionan que también afecta el diámetro de las perforaciones y el espesor de la barrera (película). Por su parte Fonseca *et al.* (2002) mencionaron que la temperatura es el factor externo que afecta de

manera más importante la actividad respiratoria, sin embargo, en este trabajo también se observa que el nivel de microperforado (permeabilidad a los gases a través de los envases) es un factor muy importante, ya que a menor nivel de microperforado existe menor disponibilidad de O₂ y mayor de CO₂, y por consiguiente, menor tasa respiratoria debido a las concentraciones de estos compuestos.

Bajo los fundamentos expuestos, se consideró para la segunda fase de investigación, utilizar recipientes con cuatro microperforaciones para el almacenamiento de aguacates a temperatura ambiente (T3) y recipientes con dos microperforaciones para almacenamiento en refrigeración (T2); esto, debido a que brinda fuerte evidencia que son los tratamientos que reducen al máximo la tasa respiratoria, evitan el metabolismo fermentativo y desarrollo de aromas y sabores y maximizan la vida de anaquel de los frutos.

6.2 Fase dos de investigación.

6.2.1 Caracterización inicial

Los frutos de aguacate 'Hass' utilizados en esta fase de trabajo tuvieron un peso promedio por fruto de 192.4 ± 10.05 g y contenido de materia seca de 22.16 ± 0.42 %. La importancia del último radica en que éste es utilizado como índice de cosecha y define si el fruto se encuentra en madurez fisiológica o no. Solares (1981) menciona que un fruto de aguacate se encuentra maduro fisiológicamente si contiene al menos del 20 al 22.8 % de materia seca, para Kader y Arpaia (2000) y Pérez (1986) no menos del 20.8 %; lo que indica que los frutos de la presente investigación se encontraban en madurez fisiológica. Por el contrario, Yahia (2005) menciona que el contenido adecuado debe ser superior al 22.8%.

La firmeza inicial de los frutos fue de 53.6 ± 2.03 N, contenido de SST de 5.01 ± 1.68 °Bx, acidez de 0.08 ± 0.011 %, pH de 6.31 ± 0.08 . En cuanto a atributos de color en cáscara se observaron: luminosidad de 27.76 ± 1.94 , cromaticidad de 9.74 ± 1.97 y ángulo de matiz de 150.07 ± 1.78 °.

6.2.2 Resumen de análisis de Varianza

El cuadro 8 muestra algunas estadísticas de ajuste del modelo a los datos experimentales. En él se aprecia un alto valor de R^2 , excepto en las variables acidez y SST. La interacción temperatura tiempo resultó estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) la mayoría de los casos. Se puede decir que el modelo estadístico describió adecuadamente la variabilidad de los datos.

Cuadro 8. Resumen de estadística de ajuste de las variables evaluadas

Variable respuesta	Grados de libertad	R^2 †	Coefficiente de variación	Significancia (T*A) †
Peso	1	0.9902	16.45	<0.0001*
Luminosidad	1	0.9135	4.02	<0.0060*
Cromaticidad	1	0.9187	16.90	<0.0293*
Ángulo de matiz	1	0.9938	1.67	<0.0001*
Firmeza	1	0.9598	16.06	<0.0102*
Metabolitos	1	0.9909	20.28	<0.0003*
pH	1	0.9937	4.69	<0.3550
Acidez	1	0.6388	12.36	<0.1558
SST	1	0.7514	10.97	<0.3813

† R^2 = Estadístico de ajuste del modelo; † (T*A)=Interacción temperatura atmósfera; *Estadísticamente significativa

6.2.3 Pérdida de peso

El peso de los frutos de aguacate en los cuatro tratamientos disminuyó a través del tiempo (Figura 16). Al término de 28 días de almacenamiento, el tratamiento AAN presentó la mayor pérdida de peso, respecto a los otros tratamientos, al registrarse una disminución del 35.92 % en relación a su peso al inicial (día 0), mientras que el tratamiento RAM es el que mejor conservó su peso al disminuir únicamente el 0.38%. Los tratamientos AAM y RAN también presentaron poca pérdida de peso (1.4 y 5.36 %), mostrando valores muy cercanos al tratamiento AAM al RAM.

Como se puede observar en la Figura 18, la pérdida de peso presenta una tendencia lineal, por lo que se puede decir que la pérdida de peso se presenta de manera constante durante el proceso de almacenamiento y maduración de

los frutos de aguacate, independientemente si estos son manejados a temperatura ambiente o bajo refrigeración, o bien, en atmósfera modificada o en aire natural. Arzate-Vázquez *et al.* (2011) encontraron también que la pérdida de peso en aguacate 'Hass' es constante, ya que mencionan que esta se presenta con una tendencia lineal y se incrementa en función al tiempo. Por el contrario, Osuna *et al.* (2005) encontraron en frutos de aguacate 'Hass' tratados y no tratados con 1-MCP una tasa creciente en la pérdida de peso, diferente a lo reportado por Saucedo-Hernández *et al.* (2005) en aguacate Fuerte, que encontraron una disminución de la tasa de pérdida de peso y no la describen como un comportamiento lineal. Existe discrepancia, sin embargo en los distintos tratamientos del presente trabajo se reitera el comportamiento lineal.

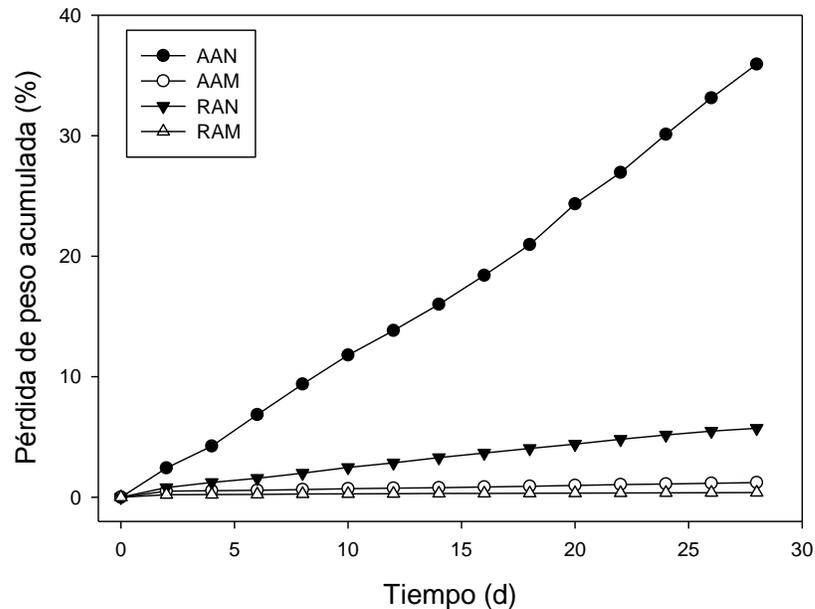


Figura 18. Pérdida de peso acumulada en frutos de aguacate 'Hass' almacenados al ambiente en aire natural (AAN), al ambiente en atmósfera modificada (AAM), en refrigeración en aire natural (RAN) y en refrigeración en atmósfera modificada (RAM).

Analizando exclusivamente al tiempo final de medición (28 d), todos los tratamientos presentan diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en pérdida de peso (Figura 19). Por lo anterior, la atmósfera modificada representa una buena opción de almacenamiento de frutos puesto que esta técnica evita la pérdida de

peso del material, mientras que los tratamientos en aire normal presentan las mayores pérdidas de peso.

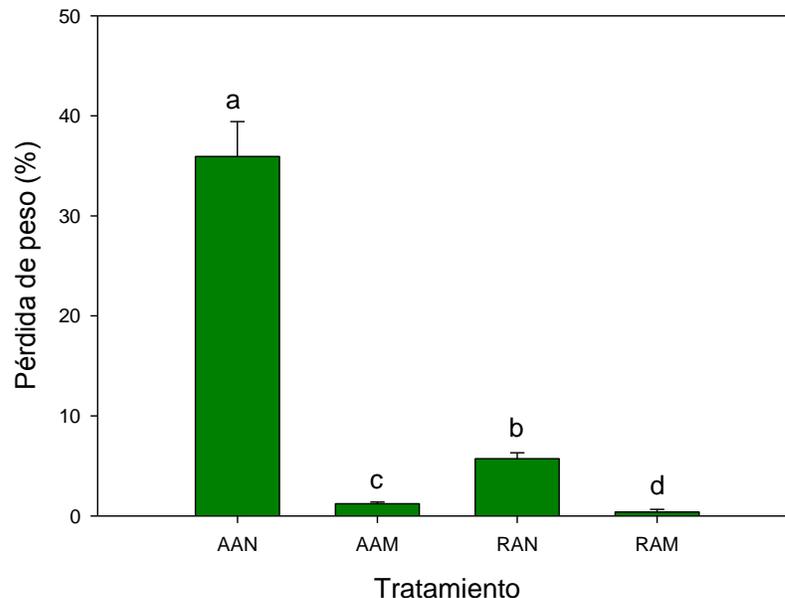


Figura 19. Comparación de medias de pérdida de peso en frutos de aguacate 'Hass' almacenados al ambiente en aire natural (AAN), al ambiente en atmósfera modificada (AAM), en refrigeración en aire natural (RAN) y en refrigeración en atmósfera modificada (RAM). Resultados al tiempo final de medición experimental. Sobre cada barra se indica el error estándar y las letras indican diferencia estadística, donde medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

6.2.4 Color

6.2.4.1 Luminosidad.

El cambio de luminosidad en la cáscara de frutos de aguacate a través del tiempo se puede observar en la Figura 20, donde el factor temperatura y el tipo de atmósfera la afectan.

De acuerdo con la Figura 20, el tratamiento al ambiente en aire natural (AAN) es el que más disminuyó su luminosidad al descender de 28.25% a valores cercanos de 21%. Este comportamiento también fue observado por Arzate-Vázquez (2011) al almacenar aguacates a 20 °C por 12 días, disminuyendo la luminosidad de 34% a 26%. Por su parte, el tratamiento en refrigeración en aire

natural (RAN) también presentó una disminución de la luminosidad (de 28.25% a 26.1%), pero menor al presentado por el tratamiento AAN, condición que fue similar a la reportada por Meyer y Terry (2010) en frutos de aguacate 'Hass' almacenados a 5 °C donde la luminosidad disminuyó de 29.5% a 24%. Como se puede observar, los tratamientos que estuvieron en aire natural son los que mayores pérdidas de luminosidad presentaron.

Los tratamientos AAM y RAM, que estuvieron en la condición de atmósfera modificada (Figura 20), mantuvieron mejor su luminosidad a través del tiempo. Al respecto Monroy (2009), observó en agallas de huitlacoche almacenados a 3 y 20 °C, que los tratamientos en atmósfera modificada con microperforado favorecieron a la retención de la luminosidad. Por el contrario, la misma autora, observó que el huitlacoche almacenado en aire normal, disminuyó más rápidamente su luminosidad, condición que también fue observada en el presente trabajo en aguacates almacenados en refrigeración y al ambiente en aire normal.

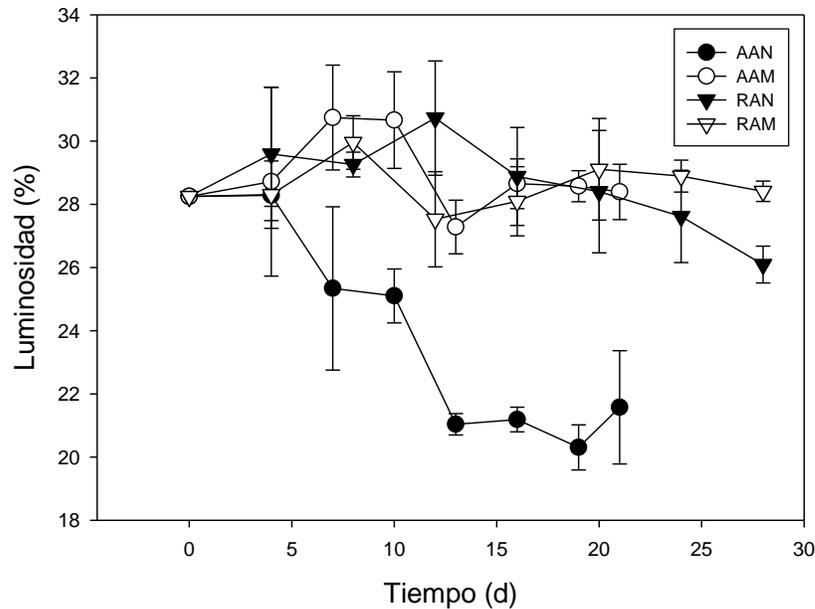


Figura 20. Variación de Luminosidad (L) en cáscara de frutos de aguacate 'Hass' almacenados al ambiente en aire natural (AAN), al ambiente en atmósfera modificada (AAM), en refrigeración en aire natural (RAN) y en refrigeración en atmósfera modificada (RAM). Los valores indican el promedio de tres repeticiones y sobre cada uno el error estándar.

Analizando exclusivamente el tiempo final de medición (28 d), en luminosidad estadísticamente existen diferencias ($P \leq 0.05$) entre las medias de los tratamientos (Figura 21). Todos los tratamientos son diferentes, aunque numéricamente el tratamiento AAM y RAM presentan valores muy similares.

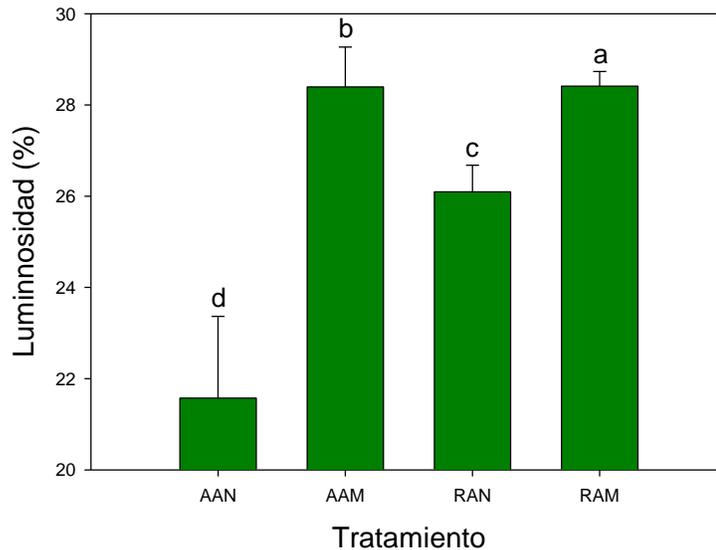


Figura 21. Comparación de medias de luminosidad en aguacate almacenado al ambiente en aire natural (AAN), al ambiente en atmósfera modificada (AAM), en refrigeración en aire natural (RAN) y en refrigeración en atmósfera modificada (RAM). Resultados al tiempo final de medición experimental. Sobre cada barra se indica el error estándar y las letras indican diferencia estadística, donde medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

6.2.4.2 Cromaticidad.

La cromaticidad o pureza del color de los frutos de aguacate se modificó a través del tiempo, por lo que el factor temperatura y tipo de atmósfera tiene efecto sobre esta variable.

Como se puede observar en la Figura 22, el tratamiento AAN disminuyó la cromaticidad de 10.45 a 1.81, de forma muy rápida respecto a los otros tratamientos, por lo que se mezcló con los colores grises y cambió de un color verde puro a un color negro. Característica que es normal durante la maduración de aguacate 'Hass' (Saucedo, 1991), ya que existe degradación de las clorofilas y aumento en la concentración de los carotenoides, fenómeno que

explica la disminución de la pureza del color (Arzate-Vázquez *et al.*, 2011). Estas características fueron similares a las observadas en frutos de aguacate 'Hass' por Meyer y Terry (2010), ya que presentaron una disminución de la cromaticidad en un lapso de 26 días.

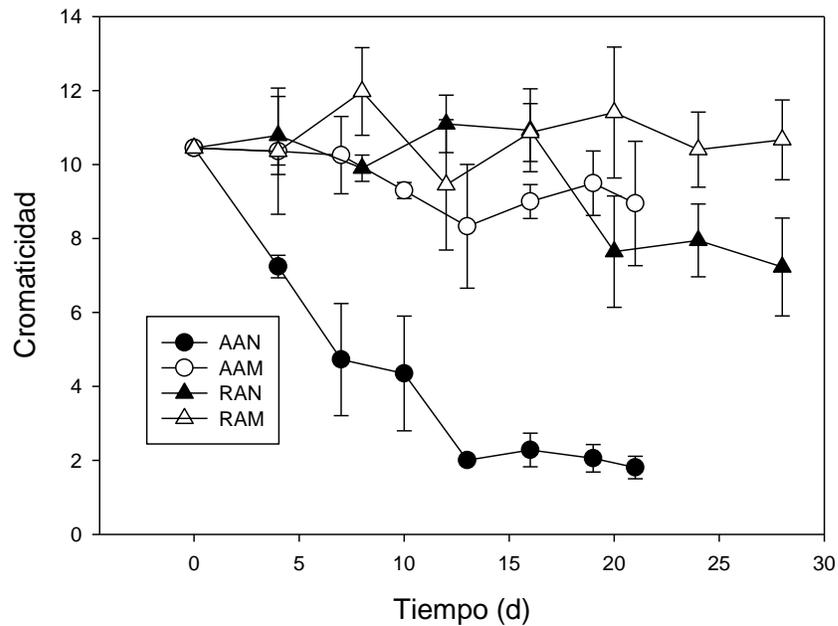


Figura 22. Variación de la cromaticidad (C) en aguacate 'Hass' almacenado al ambiente en aire natural (AAN), al ambiente en atmósfera modificada (AAM), en refrigeración en aire natural (RAN) y en refrigeración en atmósfera modificada (RAM). Cada valor representa la media de tres repeticiones y las barras indican el error estándar.

Los tratamientos AAM y RAN también presentaron disminución de la cromaticidad pero a velocidad menor que el tratamiento AAN, descendiendo de 10.45 a valores de 8.95 y 7.23 respectivamente, lo que muestra que el color se volvió menos puro y cambió de un verde intenso a uno mezclado con el gris. Lo anterior indica que sí hubo degradación de clorofilas y aumento de carotenoides pero no en gran cantidad.

Contrario a los tratamientos anteriores, el que almacenó frutos en refrigeración en atmósfera modificada (RAM), no presentó una disminución de la cromaticidad, lo que indica que color se mantuvo puro a lo largo de los 28 días de almacenamiento y que los procesos de degradación de clorofilas y aumento

de carotenoides no se llevaron a cabo como consecuencia del metabolismo natural del fruto, esto de acuerdo a lo mencionado por Arzate-Vázquez *et al.* (2011).

Analizando exclusivamente el tiempo final de medición (28 d) y de acuerdo con la Figura 23, sí existe diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$) al comparar las medias de los tratamientos, por lo que todos los tratamientos son diferentes, siendo el tratamiento AAN el que presenta menor pureza de color, y el tratamiento RAM el que mejor lo conserva durante al almacenamiento por 28 días.

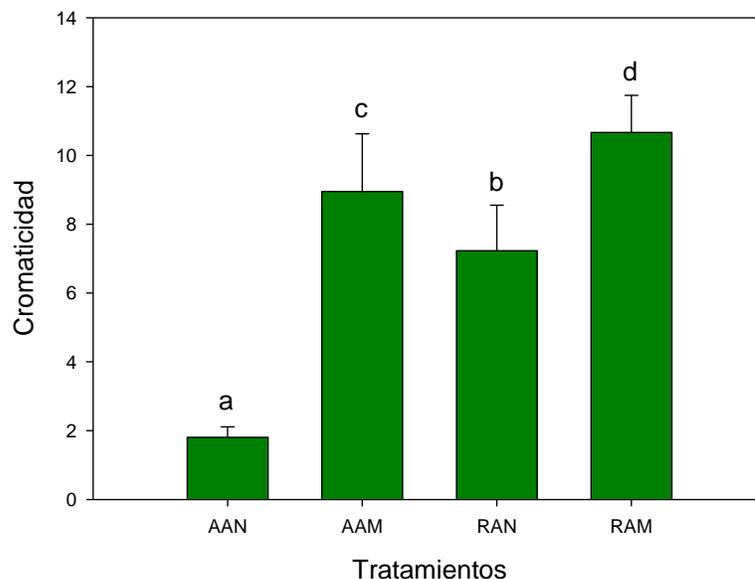


Figura 23. Comparación de medias de cromaticidad de frutos de aguacate 'Hass' almacenado al ambiente en aire natural (AAN), al ambiente en atmósfera modificada (AAM), en refrigeración en aire natural (RAN) y en refrigeración en atmósfera modificada (RAM). Resultados al tiempo final de medición experimental. Sobre cada barra se indica el error estándar y las letras indican diferencia estadística, donde medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

6.2.3.3 Ángulo de matiz o Hue (h°)

El ángulo de matiz o Hue, de los frutos de aguacate se modificó a través de tiempo, por lo que los factores temperatura y tipo de atmósfera circundante al fruto tienen efecto sobre esta variable.

El ángulo Hue de los aguacates del tratamiento AAN es el que más se modificó a través del tiempo de almacenamiento, ya que cambió de 149.8 ° a 226.7 °, lo que indica que el color viró de verde-amarillo a color verde-azul, pero al hacer la interacción con los parámetros de color descritos anteriormente, se observa que los frutos de este tratamiento tomaron un color negro al disminuir la luminosidad y la pureza.

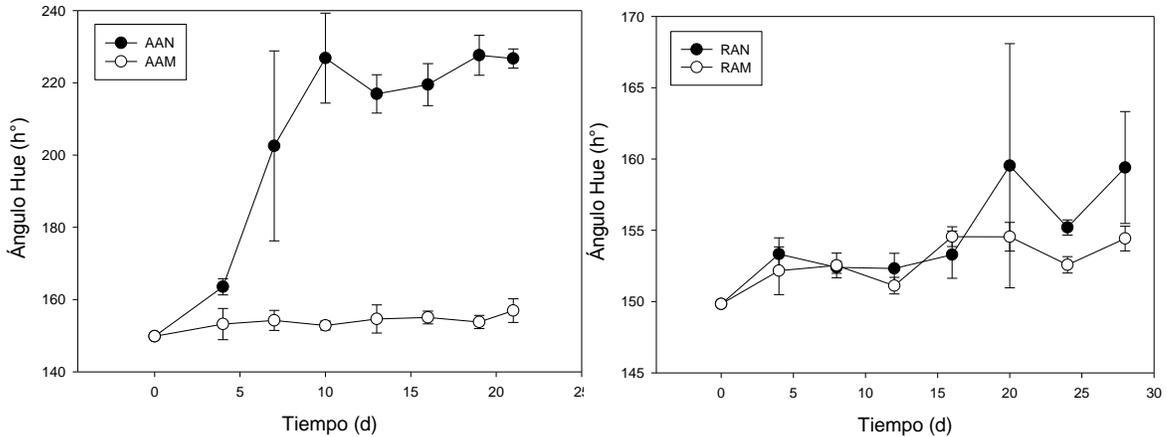


Figura 24. Variación del ángulo Hue (°) en aguacate ‘Hass’ almacenado al ambiente en aire natural (AAN), al ambiente en atmósfera modificada (AAM), en refrigeración en aire natural (RAN) y en refrigeración en atmósfera modificada (RAM). Cada valor representa la media de tres repeticiones y las barras indican el error estándar.

Los frutos de los tratamientos AAM, RAN y RAM también modificaron su ángulo Hue pero no tan marcadamente como el tratamiento anterior, ya que se modificaron de un tono inicial de 149.8 ° a 156.8 °, 159.4 ° y 154.4 °, respectivamente. Lo que indica que los aguacates de estos tratamientos matuvieron su matiz en verde-amarillo, virando un poco el color hacia el verde puro. Al realizar la interacción con los otros parámetros (L y C), prácticamente no hubo modificaciones de color respecto al momento de la instalación del experimento. El tratamiento que menos produjo cambio en el ángulo Hue fue el tratamiento RAM.

Los resultados encontrados en este trabajo coinciden con los encontrados por Aguayo *et al.* (2003), quienes observaron en melón mínimamente procesado y conservado en atmósfera modificada (envases con películas microperforadas), que el ángulo de matiz no cambió durante 14 días de almacenamiento.

Analizando exclusivamente al tiempo final de medición (28 d) y de acuerdo a la Figura 25, al comparar las medias de los tratamientos existe diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$). Por lo tanto, al interactuar los factores temperatura y tipo de atmósfera, las medias de los todos los tratamientos son diferentes.

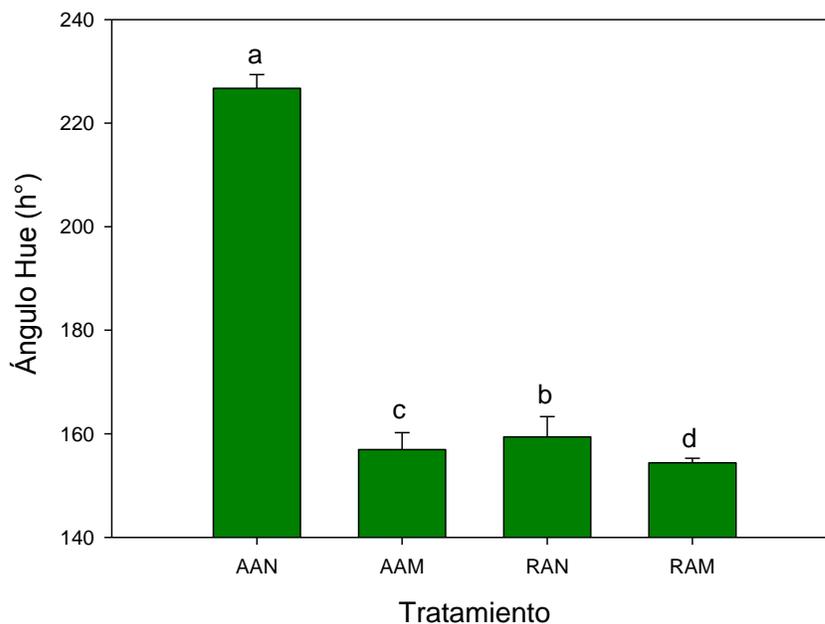


Figura 25. Comparación de medias de ángulo de tono ($^{\circ}$) de frutos de aguacate 'Hass' almacenado al ambiente en aire natural (AAN), al ambiente en atmósfera modificada (AAM), en refrigeración en aire natural (RAN) y en refrigeración en atmósfera modificada (RAM). Datos correspondientes al día final de experimentación. Sobre cada barra se indica el error estándar y las letras indican diferencia estadística, donde medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

6.2.5 Firmeza

La firmeza de los frutos de aguacate almacenados bajo diferentes condiciones disminuyó a través del tiempo (Figura 26), lo que significa que con el tiempo los frutos fueron madurando pero a velocidades diferentes. Lo anterior se afirma debido a que está comprobado que el proceso de maduración en los frutos de aguacate se caracteriza por un ablandamiento como consecuencia de los cambios que se producen en la composición y estructura de la pared celular (Shafiur, 2002; Ochoa-Ascencio, 2009).

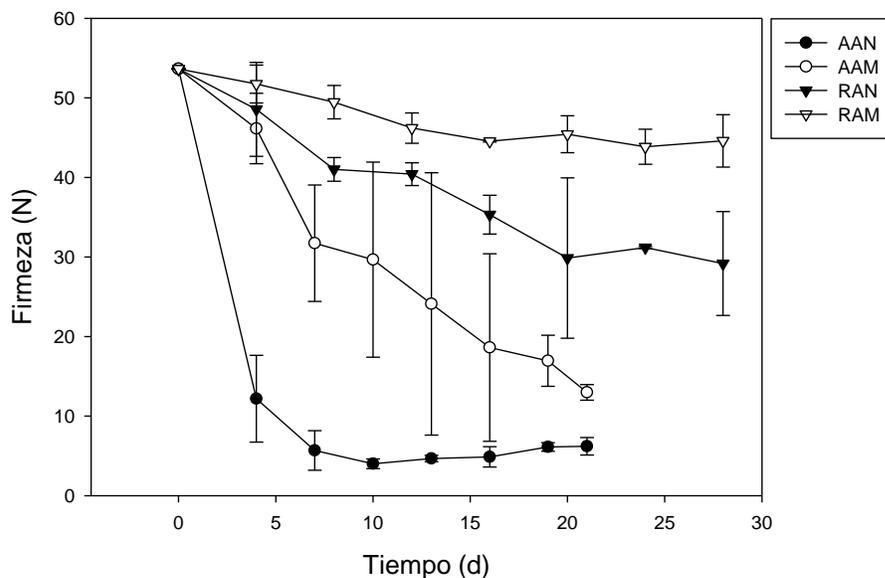


Figura 26. Variación de la firmeza (N) en aguacate 'Hass' almacenado al ambiente en aire natural (AAN), al ambiente en atmósfera modificada (AAM), en refrigeración en aire natural (RAN) y en refrigeración en atmósfera modificada (RAM). Cada valor representa la media de tres repeticiones y las barras indican el error estándar.

De acuerdo con la Figura 26, el tratamiento al ambiente con aire natural (AAN), es el que presentó los cambios más rápidos de firmeza y con los valores más bajos, al reducirse de 53.64 N a 4.12 N en 7 días, momento en el cual los frutos ya se encontraban en madurez de consumo. Posterior al décimo día, los frutos presentaron un aumento en la firmeza, sin embargo, este comportamiento fue

atribuido a que se presentó un proceso de deshidratación de la cáscara, condición que contribuyó al aumento de la rigidez. Por el contrario, el tratamiento en refrigeración con atmósfera modificada (RAM) es el que mejor mantuvo su dureza a través del tiempo, ya que aunque los frutos disminuyeron de 53.64 N a 44.59 N, este valor en promedio es únicamente 9.05 N más bajo respecto al valor inicial y fue obtenido a los 28 días de almacenamiento (Figura 26), lo que es atribuible al efecto de la temperatura y a la composición interna de los gases. Escribano *et al.*, (1997) menciona que la firmeza de los frutos se puede mantener casi constante si a los frutos se les da un tratamiento con alto CO₂ y se les almacena a bajas temperaturas debido a que el CO₂ evita la acumulación de poligalacturonasa (PG). Los tratamientos AAM y RAN presentaron pérdida de firmeza intermedia, reportando valores más bajos el primero que el segundo. Al respecto, Sanz *et al.* (1999) almacenaron frutos de fresa en empaques con diferentes grados de microperforado y encontraron que la firmeza disminuye, en todos los casos, al paso del tiempo dependiendo del grado de microperforado y de la temperatura, obteniéndose menor firmeza a mayor microperforado y aun más evidente en el tratamiento testigo (al aire normal).

Valle-Guadarrama *et al.* (2002), Monroy (2009) y Arzate-Vázquez (2011) observaron que la pérdida de la firmeza en frutos de aguacate presenta un comportamiento sigmoïdal, donde al inicio del almacenamiento el cambio de la firmeza es lento, después acelerado y finalmente alcanza valores constantes en la fase del postclimatérico. Sin embargo en el presente trabajo, como se puede observar en la Figura 26, no se cuentan con bases firmes para manifestar el mismo comportamiento.

Analizando exclusivamente al tiempo final de medición (d 28), estadísticamente los cuatro tratamientos presentan diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la disminución de la firmeza (Figura 27), por lo que se puede decir que la temperatura de almacenamiento y la atmósfera circundante al fruto tienen efecto significativo en la firmeza al paso del tiempo, de acuerdo con lo anterior,

la temperatura baja y la atmósfera modificada favorecen la permanencia de la firmeza y retardo de la madurez. Al respecto, Yahia y Gonzales (1998) mencionan que el uso de las atmósferas modificadas prolongan la vida postcosecha de frutos de aguacate ‘Hass’ al reducir la pérdida de peso y el ablandamiento de la pulpa, mientras que Román y Yahia (2002), mencionan que la temperatura es el factor más importante y si se quieren tiempos mayores de conservación, se debe hacer uso de las atmósferas modificadas.

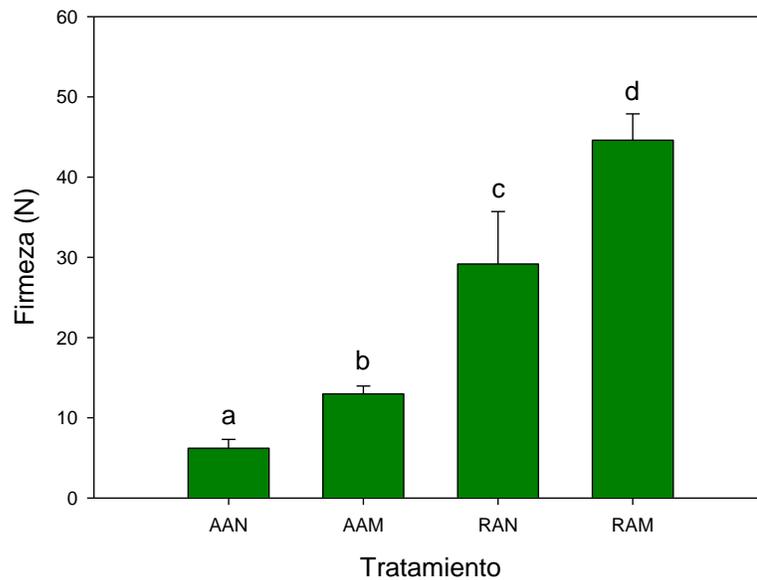


Figura 27. Comparación de medias de la firmeza (N) de aguacate ‘Hass’ almacenados al ambiente en aire natural (AAN), al ambiente en atmósfera modificada (AAM), en refrigeración en aire natural (RAN) y en refrigeración en atmósfera modificada (RAM). Sobre cada barra se indica el error estándar y las letras indican diferencia estadística, donde medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

6.2.6 Concentración de CO₂ y O₂ instalada en los envases

La concentración de O₂ y CO₂ es una de las características más importantes para el buen funcionamiento de las atmósferas modificadas del presente trabajo.

La Figura 28 muestra que la formación de la atmósfera modificada sucedió de manera pasiva, y que de un régimen transitorio llegó a uno estacionario. Para la atmósfera modificada a temperatura ambiente, formada por cuatro microperforaciones en el envase, se puede observar que la concentración de oxígeno se estableció en un promedio de 3.58% y de dióxido de carbono de 22.92% (Figura 28, a), mientras que para la atmósfera modificada bajo refrigeración, formada por dos microperforaciones en el envase, presentó en promedio una concentración de oxígeno de 4.9% y de dióxido de carbono de 15.57% (Figura 28, b).

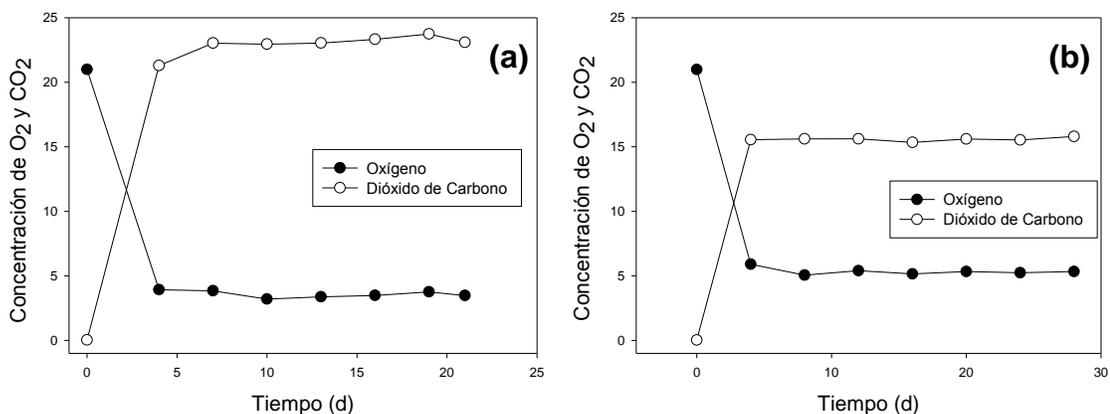


Figura 28. Concentración de O₂ y CO₂ para atmósfera modificada a temperatura ambiente (a) y en refrigeración (b) en recipientes almacenando frutos de aguacate 'Hass'.

Como se puede observar, las concentraciones de O₂ en las atmósferas modificadas en ambas temperaturas, se encontraron dentro del intervalo recomendado por Román y Yahia (2002) y Ascencio-Ochoa (2009) para almacenamiento de aguacate, que es del 2 al 5%. Para el caso de las concentraciones de CO₂, este componente gaseoso resultó superior a lo recomendado por los mismos autores, sin embargo este resultado era el esperado, ya que en la primera fase de este trabajo se presentó el mismo comportamiento. Por lo tanto, las condiciones de almacenamiento creadas a partir del microperforado de los envases, son buenas ya que presentan buenos niveles de O₂ para que los frutos de aguacate manifiesten un mínimo en la tasa respiratoria y den como resultado un aumento en la vida de anaquel, tal como lo

mencionan Rodríguez-Félix *et al.* (2005) y Burdon *et al.* (2008). Así también, Beaudry (2010) menciona que el desarrollo fisiológico de los vegetales es dependiente del O₂ y el CO₂, y las atmósferas modificadas o controladas al regular estos componentes, afectan el metabolismo primario y dan como resultado la inhibición de: la acción del etileno, oscurecimiento de las superficies, degradación de la clorofila, pudriciones y proliferación de patógenos para humanos.

6.2.7 Metabolitos anaerobios

La cantidad de metabolitos anaerobios, representada por la formación de acetaldehído y etanol, muestra un comportamiento similar de tendencia de producción en los diferentes tratamientos, ya que como se puede observar en la Figura 29, la tasa de producción aumenta conforme pasa el tiempo y posteriormente tiende a disminuir, a excepción del tratamiento AAN y FAN, que después del día 16 presentó un ascenso abrupto (principalmente por la formación de etanol). En cuanto a cantidad producida si existen diferencias, ya que los tratamientos al ambiente (AAN y AAM) presentaron las tasas más altas de metabolitos generados (Figura 29, a), alcanzando el pico más alto en 50.71 mg.100⁻¹g⁻¹ de pulpa en el primero, y 11.24 mg.100⁻¹g⁻¹ para el segundo, el cual se mantuvo en un intervalo de producción más constante. Los tratamientos en refrigeración (RAN y RAM) presentaron las menores tasas de producción de metabolitos y la cantidad generada se mantuvo en el intervalo de 0.5 a 2 mg.100⁻¹g⁻¹ de pulpa (Figura 29, b). Este incremento concuerda con lo reportado por Pérez-López *et al.* (2004), quienes en frutos de litchi almacenados, observaron que el contenido de acetaldehído fue incrementando al paso del tiempo.

En el mismo sentido, Sanz *et al.* (1999) almacenaron frutos de fresa en empaques con diferentes grados de perforación y observaron que al paso del tiempo las cantidades de acetaldehído, acetato etilo y etanol aumentaron, lo cual es congruente con los resultados obtenidos en el presente trabajo, y encontraron además que a mayor número de microperforaciones la cantidad de

estos compuestos fue menor. Sin embargo encontraron efectos adversos en el color de los frutos y desarrollo de malos sabores debido a las concentraciones alcanzadas.

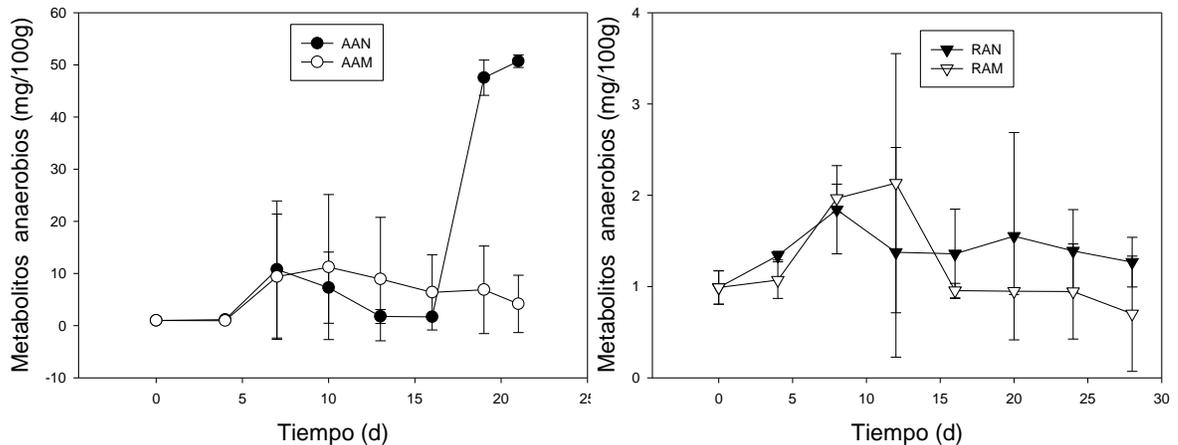


Figura 29. Variación de las concentraciones de metabolitos anaerobios (acetaldehído y etanol) en aguacate ‘Hass’ almacenado al ambiente en aire natural (AAN), al ambiente en atmósfera modificada (AAM), en refrigeración en aire natural (RAN) y en refrigeración en atmósfera modificada (RAM). Cada valor representa la media de tres repeticiones y las barras indican el error estándar.

Respecto al aumento abrupto de metabolitos anaerobios (en este caso etanol) en el tratamiento AAN después del día 16, Hajjar *et al.* (2010) observaron el mismo comportamiento en trufas frescas almacenadas por 29, donde mencionaron que la formación de etanol es resultado de la muerte del tejido celular. Por lo tanto, el aumento acelerado de etanol en los frutos de aguacate en el presente trabajo, nos indica que las células estaban muriendo.

Analizando exclusivamente al tiempo final de medición (28 d) y de acuerdo con la Figura 30, estadísticamente existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre las medias de los efectos de los tratamientos. Los tratamientos en refrigeración (RAM y RAM) son los únicos que son estadísticamente iguales. Por lo tanto, el tratamiento RAM presenta cantidades similares de producción de metabolitos anaerobios respecto al testigo (RAN) y se puede decir que la atmósfera modificada pudo evitar la formación elevada de tales compuestos; para el caso

del tratamiento AAM este si fue diferente al testigo (AAN), sin embargo, en todos los caso la cantidad de metabolitos anaerobios producidos fue menor a la del tratamiento testigo, el cual describe la maduración normal de los frutos de aguacate.

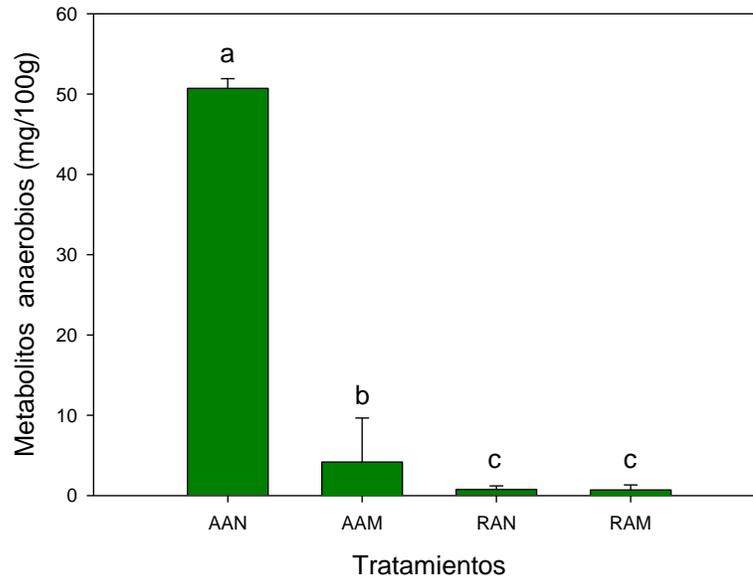


Figura 30. Comparación de medias de concentración de matabolitos anaerobios (acetaldehído y etanol) en aguacate 'Hass' almacenado al ambiente en aire natural (AAN), al ambiente en atmósfera modificada (AAM), en refrigeración en aire natural (RAN) y en refrigeración en atmósfera modificada (RAM). Datos correspondientes al tiempo final de medición. Sobre cada barra se indica el error estándar y las letras indican diferencia estadística, donde medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

Por último se puede mencionar que los frutos mantuvieron su sabor característico, ya que de acuerdo con Sanz (1999), el contenido elevado de metabolitos anaerobios tales como etanol, acetaldehído y acetato etilo son indicativos del desarrollo de malos sabores y olores, lo cual no sucedió en el presente trabajo.

6.2.8 pH

El pH de los frutos de aguacate en los cuatro tratamientos disminuyó a través del tiempo y fue diferente, siendo el tratamiento AAN el que provocó el pH más alto y el RAN el más bajo (Figura 31). Como se puede observar, el factor atmósfera modificada tuvo efecto sobre esta variable respuesta, ya que a temperatura ambiente el pH de los frutos del tratamiento AAM fue menor en relación a los de aire normal (AAN), mientras que en refrigeración este valor se comportó de forma diferente al obtenerse en frutos con atmósfera modificada un pH superior a los del testigo (RAN); en general se observa que los tratamientos en atmósfera modificada presentan valores intermedios. Por su parte la temperatura también tuvo efecto, ya que los frutos al ambiente del tratamiento AAN presentaron pH más alto comparado a los de refrigeración (RAN), por el contrario, los del tratamiento AAM presentaron valores más bajos en relación a los de refrigeración (RAM).

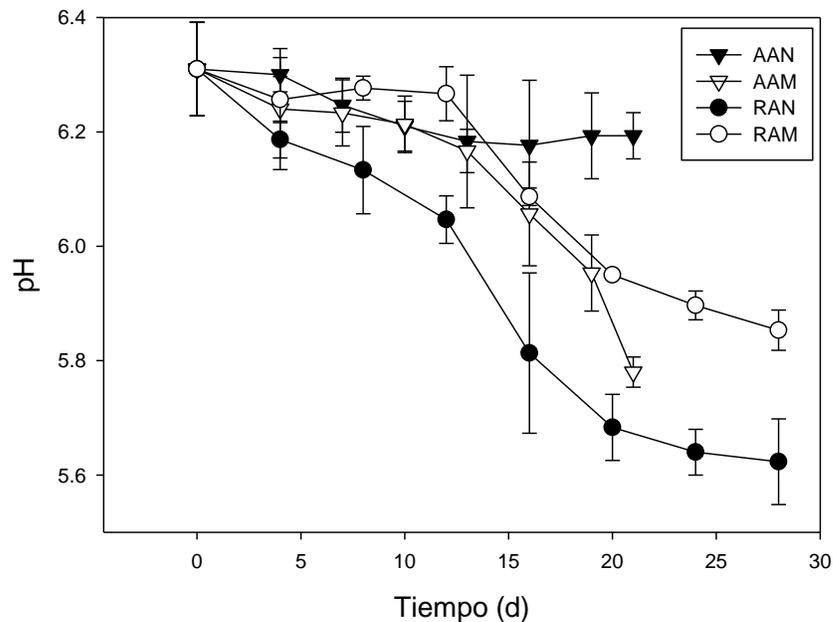


Figura 31. Variación de pH en frutos de aguacate 'Hass' almacenados al ambiente en aire natural (AAN), al ambiente en atmósfera modificada (AAM), en refrigeración en aire natural (RAN) y en refrigeración en atmósfera modificada (RAM). Cada valor representa la media de tres repeticiones y las barras indican el error estándar.

En 1942 Claypool y Keefer describieron que el CO₂ puede fijarse en fase acuosa como ácido carbónico (H₂CO₃⁻) y Large y Kader (1997) demostraron que para el caso de aguacate 'Hass', el CO₂ puede modificar el pH del tejido debido a tal comportamiento, donde el CO₂ se fija como HCO₃⁻. Tal comportamiento concuerda con los resultados obtenidos en el presente trabajo, ya que a mayores niveles de CO₂ en la atmósfera circundante y mayor tiempo de contacto del fruto con este compuesto, el pH fue menor.

El comportamiento de disminución del pH no es exclusivo en frutos de aguacate, ya que Monroy (2009) observó en huitlacoche fresco almacenado al ambiente y en refrigeración en bolsas microperforadas, que este presentó una disminución al paso del tiempo y que es dependiente de la concentración de CO₂ en la atmósfera. Así también, Aguayo *et al.* (2003) observaron esta disminución de pH en melón mínimamente procesado colocado en envases perforados (AM) y almacenados por 14 días.

Analizando exclusivamente los datos al tiempo final de experimentación, se observa que cuando interaccionan los factores temperatura de almacenamiento y tipo de atmósfera, los valores medios de pH de los diferentes tratamientos, estadísticamente presentan diferencia significativa ($p \leq 0.05$). Todos los tratamientos son diferentes (Figura 32).

6.2.9 Acidez titulable

En general, se observa que el porcentaje de acidez en los frutos de aguacate almacenados bajo diferentes tratamientos, aumentó conforme transcurrió el periodo de almacenamiento (Figura 33). En esta figura se puede observar que los frutos que fueron almacenados al ambiente desarrollamos acidez más elevada respecto a los almacenados en refrigeración, por lo que es notorio que la temperatura juega un papel importante. Respecto a los frutos almacenados en atmósfera modificada, se puede ver que el desarrollo de la acidez se dio de manera más lenta y por debajo de los tratamientos en aire normal (testigos). El

tratamiento que mejor desarrolló el porcentaje de acidez en los frutos de aguacate fue el AAN y el de menor el RAM.

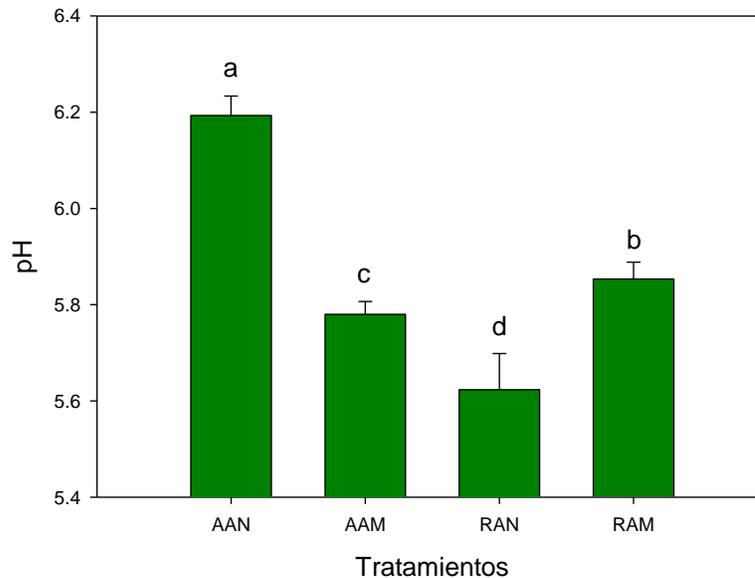


Figura 32. Comparación de medias de pH en frutos de aguacate 'Hass' almacenados al ambiente en aire natural (AAN), al ambiente en atmósfera modificada (AAM), en refrigeración en aire natural (RAN) y en refrigeración en atmósfera modificada (RAM). Datos correspondientes al tiempo final de experimentación. Sobre cada barra se indica el error estándar y las letras indican diferencia estadística, donde medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

Respecto al aumento de la acidez en los frutos, Aguayo *et al.* (2003) también observaron en frutos de melón mínimamente procesados y almacenados en envases perforados, que el comportamiento del porcentaje de acidez fue en aumento con respecto al tiempo. Sin embargo, Sanz *et al.* (1999) encontraron que en fresas almacenadas durante siete días en envases perforados, el contenido de ácido málico y ácido ascórbico disminuyó al paso del tiempo, pero no sucedió así para ácido cítrico, ya que este aumentó. El porcentaje de acidez encontrado en los frutos manejados en el presente trabajo concuerda con los reportados por Monroy (2009), que son cantidades muy bajas respecto a otros frutos como los cítricos.

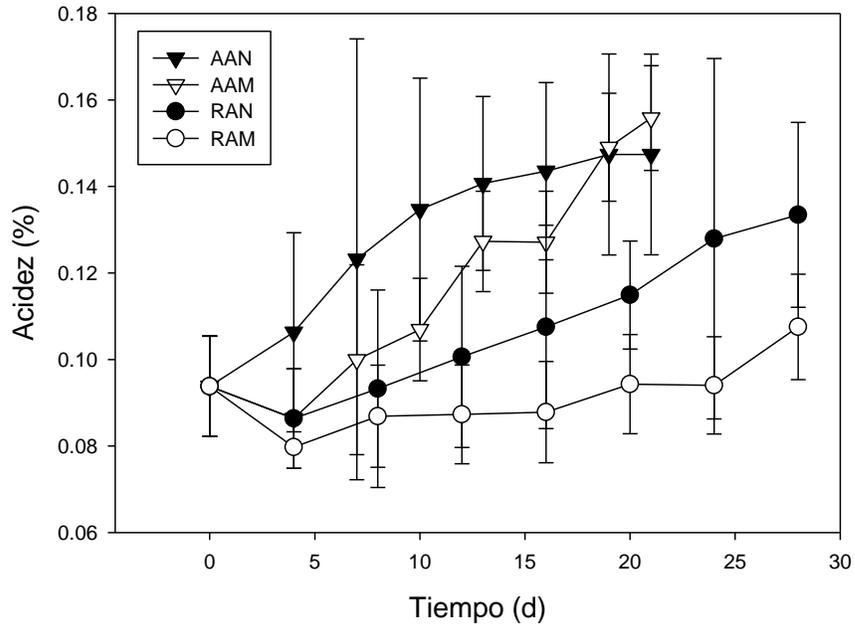


Figura 33. Variación de la acidez en frutos de aguacate ‘Hass’ almacenados al ambiente en aire natural (AAN), al ambiente en atmósfera modificada (AAM), en refrigeración en aire natural (RAN) y en refrigeración en atmósfera modificada (RAM). Cada valor representa la media de tres repeticiones y las barras indican el error estándar.

Analizando exclusivamente los datos al tiempo final de experimentación, al interactuar la temperatura de almacenamiento y el tipo de atmósfera circundante al fruto, los resultados de la comparación de medias arroja que los tratamientos presentan estadísticamente diferencia significativa ($p \leq 0.05$). Por lo tanto, todos los tratamientos son diferentes (Figura 34).

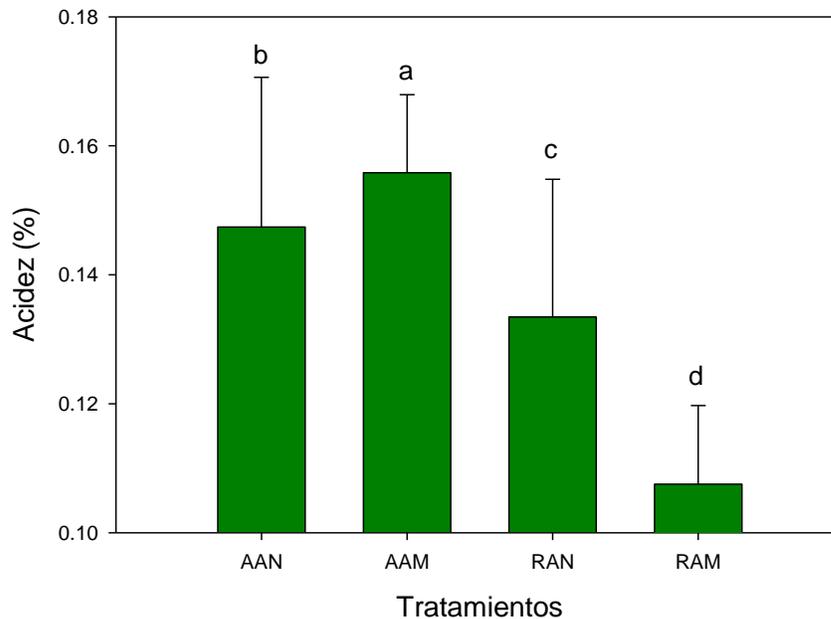


Figura 34. Comparación de medias de porcentaje de acidez en frutos de aguacate ‘Hass’ almacenados al ambiente en aire natural (AAN), al ambiente en atmósfera modificada (AAM), en refrigeración en aire natural (RAN) y en refrigeración en atmósfera modificada (RAM). Datos experimentales correspondientes al tiempo final de experimentación. Sobre cada barra se indica el error estándar y las letras indican diferencia estadística, donde medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

6.2.10 Sólidos Solubles Totales (SST)

El contenido de SST, expresados en °Bx, en el presente trabajo no presentó una tendencia estándar pero si se presentaron diferencias. Como se puede observar en la Figura 35(a), los tratamientos al ambiente presentaron un pequeño ascenso en °Bx, el cual comienza a disminuir a partir del día 10 y 13, respectivamente, mientras que en el caso de los tratamientos en refrigeración (Figura 35, b) se observa que el contenido de SST se mantiene prácticamente constante a través del tiempo, pero con variación entre un dato y otro. Lo anterior es un indicativo de que los frutos al ambiente desarrollaron dulzor, el cual posteriormente disminuyó, y los frutos en refrigeración no presentaron cambio significativo en el mismo. Por su parte, Aguayo *et al.* (2003) encontraron en melón almacenado en atmósfera modificada, que la cantidad de SST

aumentó al paso del tiempo, lo cual contribuyó al aumento del dulzor, así también una disminución de la tasa respiratoria que generó que el contenido los °Bx disminuyera, lo cual puede explicar el comportamiento de los tratamientos de los diferentes tratamientos, donde la tasa respiratoria disminuyó debido a la temperatura de almacenamiento y a la atmósfera modificada.

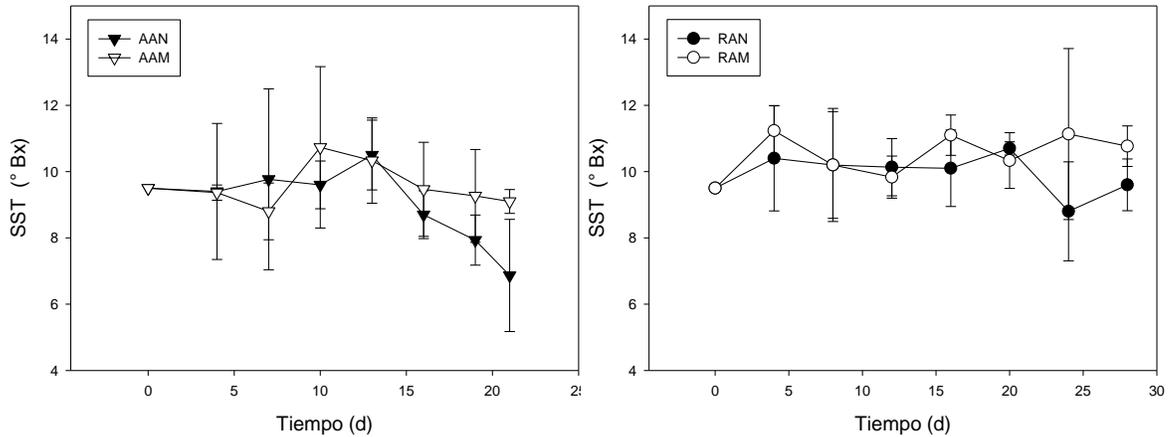


Figura 35. Variación de SST en aguacate ‘Hass’ almacenado al ambiente en aire natural (AAN), al ambiente en atmósfera modificada (AAM), en refrigeración en aire natural (RAN) y en refrigeración en atmósfera modificada (RAM). Cada valor representa la media de tres repeticiones y las barras indican el error estándar.

Analizando exclusivamente el tiempo final de medición de cada tratamiento, se obtiene que en la comparación de los tratamientos como resultado de la interacción de los factores temperatura y atmósfera circundante al fruto, el análisis estadístico arroja que las medias de los tratamientos presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$). De acuerdo con lo anterior, los °Bx obtenidos de los frutos en todos los tratamientos son diferentes (Figura 36)

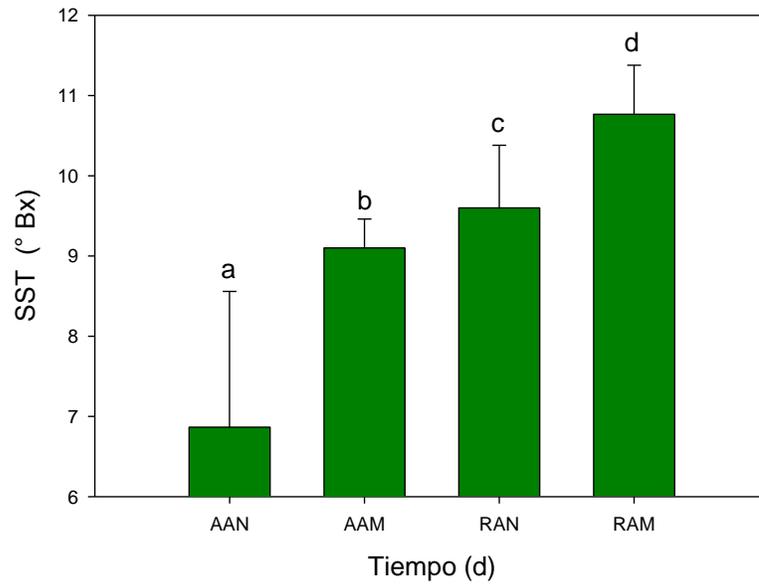


Figura 36. Comparación de medias en SST de frutos de aguacate 'Hass' almacenados al ambiente en aire natural (AAN), al ambiente en atmósfera modificada (AAM), en refrigeración en aire natural (RAN) y en refrigeración en atmósfera modificada (RAM). Datos experimentales correspondientes al día final de experimentación. Sobre cada barra se indica el error estándar y las letras indican diferencia estadística, donde medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

7. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos se puede concluir que:

En atmósferas modificadas que almacenaron frutos de aguacate 'Hass', el grado de microperforación en los envases y la temperatura de almacenamiento, afectaron la concentración de O_2 y CO_2 . A mayor grado de microperforación mayor concentración de O_2 y menor de CO_2 , y a mayor temperatura, menor concentración de O_2 y menor de CO_2 . Exclusivamente en este trabajo, el nivel de microperforado que ofreció del 2-5% de O_2 en la AM fue: 4 para temperatura ambiente y 2 para refrigeración.

La atmósfera modificada a base de microperforado creó condiciones adecuadas para que los procesos metabólicos en frutos de aguacate 'Hass' se desarrollaran más lentamente. A temperatura ambiente se aumentó la vida de anaquel por 12 días más, mientras que en refrigeración el periodo de evaluación no fue suficiente y los frutos no llegaron a maduración. Existe fuerte evidencia para aceptar que el microperforado evitó el desarrollo de metabolitos anaerobios (acetaldehído y etanol).

8. BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo E., Allende A. y Artés F. 2003. Keeping quality and safety of minimally fresh processed melon. *Eur Food Res Technol* 216:494-499
- Ares G., Lareo C y Lema P. 2007. Modified atmosphere Packaging for postharvest storage of mushrooms. A review. *Fresh produce* 1(1):32-40.
- Arzate-Vázquez I., Chanona-Pérez J. J., Peréa-Flores M. J., Calderón-Domínguez G., Moreno-Armendáriz H. C., Godoy-Calderón S., Quevedo R. y Gutiérrez-López G. 2011. Image processing Applied to classification of avocado variety 'Hass' (*Persea Americana* Mill.) during the ripening process. *Food and Bioprocess Technology* 4:1307-1313.
- Association of Official Agricultural Chemist (A.O.A.C.). 1990. Official Methods Analysis. Washington D.C. 1015 p.
- Beaudry R. M. 1999. Effect of O₂ and CO₂ partial pressure on selected phenomena affecting fruit and vegetable quality. *Postharvest biology and technology*. 15:293-303.
- Beaudry R. M. 2010. Future Trends and Innovations in Controlled Atmosphere Storage and Modified Atmosphere Packaging Technologies. *Acta Hort.* 876, ISHS 2010.
- Burdon J., Lallu N., Haynes G., McDermott K. and Billing D. 2008. The effects of delays in establishment of a static or dynamic controlled atmosphere on the quality of 'Hass' avocado fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 49:61-68.
- Cajuste B., J. 1992. Efecto del grado de madurez en la frigoconservación de aguacate. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. México. p 128.

- Corrales-García y Tlapa-Rangel. 1999. Daños por frío y producción de etanol en aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass. Revista Chapingo Serie Horticultura 5: 345-351.
- Davis P., L., G. Chase W. 1969. Determination of alcohol in citrus juice by gas chromatographic analysis of head space. Hort Science 4: 117-119.
- Escribano M. I., Del Cura, B., Muñoz T. y Merodio C. 1997. The effect of high carbon dioxide at low temperature on ribulose 1,5-biphosphate carboxylase and polygalacturonase protein levels in cherimoya fruit. Journal of the American Society for Horticultural Science 122 (2): 258-262.
- FAO. 2012. Base de datos estadísticos. Consultado en marzo del 2012 en: <http://www.fao.org>
- Fonseca C. S., Oliveira F.A.R. y Brencht K. J. 2002. Modeling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmospheres Packages: a review. Journal of Food Engineering 52:99-119
- Gómez G. A. 2000. Producción de Aguacate 'Hass' para exportación. ITACA. México D.F. pp 15-41
- Hajjar S. E., Massantini R., Botondi R., Kefalas P. y Mencarelli F. 2010. Influence of high carbon dioxide and low oxygen on the postharvest physiology of fresh truffles.
- Hutchings B. J. 1999. Food color and appearance. 2th edition. Ed. Aspen Publisher. USA. pp 610.
- Ibarakj T., Ishll T., Ikematsu E., Ikedai H. and Ohta H. 2000. Modified Atmosphere Packaging of Cut Welsh Onion: Effect of Micro-Perforated Polypropylene Film Packaging on Chemical Components and Quality Stability of the Vegetable. Food Sci. Technol. Res., 6 (2), 126-129.

- Kadau R., Huyskens-Keil S., Gobmann M. y Carmen Büttner. 2003. Postharvest Quality Dynamic of Fresh-Cut Asparagus (*Asparagus officinalis* L.) in Different Film Packaging. Acta Hort. 599, ISHS 2003.
- Kader A., A. 1997. A summary of CA requirements and recommendations for fruits other than apples and pears. Proceedings of the Seventh International Controlled Atmosphere Resources Conference. University of California, Davis, California. 3:1-36
- Kader A., A. 1986. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. Food Technology 40:90-100.
- Kader A., A. 1985. Postharvest technology of horticultural crops. In: Kader A. A. (ed.). California: University of California. Agricultural and natural resources, Davis, United States of America.
- Kader A., A. 2002 Postharvest biology and technology: an overview. In Kader A.A. (ed), Postharvest biology of horticultural crops. University of California. Agricultural and Natural resources, Davis, United States of America.
- Kader A., A. y Arpaia M. 2000. Postharvest and technology. California University.
- Large D. L. y Kader A. A. 1997. Elevated carbon dioxide exposure alters intracellular pH an energy change in avocado fruit tissues. Journal of de American Society for horticultural science 122 (2): 253-257.
- Lewis, C.E. 1978. The maturity of avocados. A general review. J. Sci. Food Agr. 29:857-866.
- Mangaraj S., K. Goswami T. & V. Mahajan P. 2009. Applications of Plastic Films for Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables: A Review. Food Engineering Reviews 2:133-158.

- Martínez-Flores, A.; Corrales-García, J. J.; Espinosa-Solares, T.; García-Gatica, P. G. y Villanueva-Verduzco, A. 2008. Cambios postcosecha del hongo comestible huitlacoche (*Ustilago maydis* (D. C.) Corda. Revista Chapingo Serie Horticultura 14(3): 339-346.
- McGuire R., G. 1992. Reporting of objective color measurements. Hort Science 27:1254-1255.
- Meyer M. D. y Terry L. A. 2010. Fatty acid and sugar composition of avocado, cv. Hass, in response to treatment with an ethylene scavenger or 1-methylcyclopropene to extend storage life. Food Chemistry 121:1203-1210.
- Meza R., S. y D. Robles L. 1996. Conservación de frutos de aguacate 'Hass' bajo atmósferas modificadas a base de películas plásticas, con y sin acondicionamiento de temperatura. Tesis profesional. Departamento de ingeniería agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Monroy T. G. 2009. Conservación de huitlacoche (*Ustilago maydis* DC) mínimamente procesado en atmósferas modificadas basadas en microperforado. Tesis de maestro en ciencias. Universidad autónoma Chapingo, México.
- Mora R., B. 2007. Gradientes fisiológicos en tejido de frutos de aguacate 'Hass' bajo condiciones de atmosferas controladas. Tesis profesional. Departamento de Ingeniería agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Morton, J. 1987. Avocado. p. 91–102. In: Fruits of warm climates. Julia F. Morton, Miami, FL.
- Ochoa-Ascencio S. 2009. Calidad y manejo postcosecha del fruto de aguacate. Memorias del III congreso latinoamericano del aguacate. Medellín, Colombia.

- Ornelas-Paz J., J., Guevara-Arauz J.C., Ibarra-Junquera V., Pérez-Martínez D. y Ruiz-Cruz S. 2009. Preservación de alimentos mediante el empaçado en atmósferas modificadas. Alfa Editores Técnicos S.A. México.
- Ospina M. S. M. y Cartagena V. J. R. 2008. La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de alimentos. Revista Lasallista de Investigación. 5 (2): 112-123
- Osuna G. J. A., Beltrán J.A. y Vázquez V. V. 2005. Efecto del 1-Metilciclopropeno (1-MCP) sobre el comportamiento postcosecha del aguacate 'Hass'. Revista Fitotecnia Mexicana 28(1):1-8.
- Pérez R. R. A. 1986. Evaluación de 20 cultivares criollos de aguacate. San Andrés, La Libertad, El Salvador. CENTA, boletín técnico 17.
- Pérez-López A., Saucedo V. C., Arévalo G. M. L. y Muratalla L. A. 2004. Efecto del grado de madurez en la calidad y vida postcosecha de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.). Revista Fitotecnia Mexicana 27 (2):133-139.
- Renault P., Souty M., y Chambroy Y. 1994. Gas exchange in modified atmosphere packaging. A new theoretical approach for microperforated packs. International Journal of Food Science and technology. 29: 365-378.
- Rodov V., Horev B., Goldman G., Vinokur Y. and Fishman S. 2007 Model-driven Development of Microperforated Active Modified-Atmosphere Packaging for Fresh-cut Produce. Acta Hort. 746, ISHS 2007
- Rodríguez S., F. 1992. El aguacate. AGT editorial. México. P 167.
- Rodríguez-Félix, Rivera-Domínguez M. y González-Aguilar G. A. 2005. Uso de atmósferas modificadas y controladas. Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. México: CIAD - CYTED - CONACYT- COFUPRO. pp 447-471

- Romojaro F., Riquelme F., T. Pretel M., Martínez M., Serrano M., Martínez C., Lozano P., Segura P. y A. Luna P. 1996. Nuevas tecnologías de conservación de frutas y hortalizas. 1ª edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Sanz C., Pérez A. G., Olías R. y Olías J. M. 1999. Quality of strawberries packed with perforated polypropylene. *Journal of Food Science* 64 (4): 748-752.
- Shafiur M. R. 2002. Manual de conservación de alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- Saucedo-Hernández L., Martínez-Damián M. T., Colinas-León M. T. Barrientos-Priego A. F. y Aguilar-Melchor J. J. 2005. Aplicaciones foliares de nitrato de calcio en la maduración y daños pro frío en aguacate “fuerte”. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11(1): 149-157
- Saucedo V. C. 1991. Tecnología de conservación de aguacate, preventivas a daños por frío y almacenamiento. Memorias del seminario internacional del aguacate. Postcosecha y comercialización. Banco de México. PP. 75-85.
- SAS. 2002. Statistical Analysis System. User's guide. Version 9, The Institute Inc., Cary, NC. USA.
- Schroeder, C.A. 1953. Growth and development of the Fuerte avocado fruit. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 61: 103-109.
- Seymour, G.B., Tucker, G.A. 1993. Avocado. In: Seymour G.B., Tayler, J., Trucker, G.A. (Eds), *Biochemistry of fruit ripening*. Chapman and Hall, London, pp 53-81.
- SIAP-SAGARPA. 2012. Sistema de Información Agrícola y Pecuaria. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca, Recursos Naturales y Alimentación. México. Consultado en diciembre de 2012 en: www.siap.gob.mx

- Sitrit Y., J. Riov and A. Blumenfeld. 1986. Regulation of ethylene biosynthesis in avocado fruit during ripening. *Plant Physiology* 81:130-135.
- Solares M. 1981. Técnicas y prácticas en el cultivo de aguacate. 3ª edición. Editores Mexicanos Unidos. México D.F.
- Taiz L. y Zeiger E. 1998. *Plant Physiology*. Massachusetts: Sinauer Associates, Inc. Publishers. 792 p.
- Téliz O. D., Gonzales H. H., Rodríguez V. J. y Dromundo S. R. 2006. El aguacate y su manejo integrado. Ediciones Mundi-Prensa. México.
- Tingwa P.O., Young R.E. 1975. Studies on the inhibition of ripening in attached avocado (*Persea americana* Mill.) fruits. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 100:447-449
- Universidad Autónoma Chapingo. 1997. Manual de tesis de estudios de posgrado. Chapingo, México. 32p
- Valle-Guadarrama S., Saucedo-Veloz C., Peña-Valdivia C. B., Corrales-García J.J.E., Chávez-Franco S. H. y Espinosa-Solares T. 2002. Skin permeance and internal gas composition in 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.) fruits. *Food Science and Technology International* 119: 556-562.
- Valle-Guadarrama S. 2003. Factores de variación de la atmosfera interna en frutos de aguacate (*Persea americana* Mill.) 'Hass'. Tesis doctoral. Colegio de Postgraduados. México.
- Valle-Guadarrama S., Saucedo-Veloz C., Peña-Valdivia C. B., Corrales-García J.J.E. y Chávez-Franco S. H. 2004. Aerobic-anaerobic metabolic transition in 'Hass' avocado fruits. *Food Science and Technology International* 10 (6): 391-398
- Yahia K. E. M. 2001. Manejo postcosecha de aguacate. Memorias del 1er Congreso Mexicano y Latinoamericano del Aguacate. Uruapan, Michoacán, México. pp 295-304

Yahia K. E. M. 2005. Manejo postcosecha de aguacate. Universidad autónoma de Querétaro.

Yahia K. E. M. y González A. G. 1998. Use of passive and semi-active atmospheres to prolong the postharvest life of avocado fruit. *Lebesm. Wiss. U. Technology* 31:602-606