



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FRUTICULTURA

METABOLISMO DE ETILENO Y SENSIBILIDAD A DAÑOS POR FRÍO EN FRUTOS DE AGUACATE 'HASS' Y 'CARMEN HASS'

NALLELY ROSAS FLORES

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2015

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Nallely Rosas Flores, Alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Dr. Crescenciano Saucedo Veloz, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Metabolismo de etileno y sensibilidad a daños por frío en frutos de aguacate 'Hass' y 'Carmen Hass'

y de los producto de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre el colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 07 de Abril de 2015



Firma



Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: **Metabolismo de etileno y sensibilidad a daños por frío en frutos de aguacate 'Hass' y 'Carmen Hass'**, realizada por la alumna: **Nallely Rosas Flores**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FRUTICULTURA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



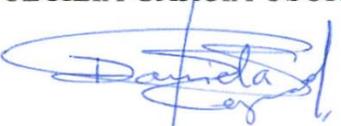
DR. CRESCENCIANO SAUCEDO VELOZ

ASESOR



M.C. CECILIA GARCÍA OSORIO

ASESOR



DRA. DANIELA SAUCEDO REYES

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Abril de 2015

Metabolismo de etileno y sensibilidad a daños por frío en frutos de aguacate ‘Hass’ y ‘Carmen Hass’

Nallely Rosas Flores, M. C.
Colegio de Postgraduados, 2015

RESUMEN

El cultivar ‘Carmen Hass’ es fenotípicamente similar a ‘Hass’, por lo que en la actualidad el manejo postcosecha del cultivar Carmen Hass se basa en los criterios de ‘Hass’, desconociéndose la temperatura y el tiempo de almacenamiento óptimos para controlar el metabolismo relacionado con la maduración, que permita evitar daños por frío e incrementar la vida útil del producto. El objetivo establecido fue evaluar el efecto de un almacenamiento a temperatura de refrigeración en los cambios asociados a la maduración, sensibilidad a daños por frío y calidad de frutos de aguacate ‘Hass’ y ‘Carmen Hass’. Para lo cual, se cosecharon frutos de ambos cultivares y se almacenaron al ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}$) y por 2, 4 y 6 semanas a $5\pm 1^{\circ}\text{C}$. Las variables evaluadas fueron: producción de etileno, pérdidas de peso, firmeza, color externo e interno, contenido clorofila (exocarpio y mesocarpio) y carotenoides, concentración de etanol, acetaldehídos, fenoles totales y azúcares totales y reductores. Se usó un diseño experimental completamente al azar con estructura unifactorial de los tratamientos, donde se compararon los perfiles o curvas generados, y se utilizó el ajuste de Tukey ($\alpha=0.05$) para detectar diferencias significativas. En los frutos madurados al ambiente, se encontró que el cv. Carmen Hass produce menor cantidad de etileno, y al madurar, presentó una tonalidad externa verde púrpura más intensa y mayor síntesis de etanol y acetaldehído así como una menor concentración de fenoles totales y azúcares totales, con respecto al cv. Hass. Los frutos de ambos cultivares luego de 2 semanas de refrigeración maduraron de forma normal, mientras que los frutos almacenados por 4 y 6 semanas a la misma temperatura presentaron daños por frío.

Palabras clave: *Persea americana* Mill., patrón de maduración, daños por frío.

**Ethylene metabolism and sensitivity to chilling injury in avocado
'Hass' and 'Carmen Hass'**

Nallely Rosas Flores, M. C.
Colegio de Postgraduados, 2015

SUMMARY

The cultivar 'Carmen Hass' is phenotypically similar to 'Hass', that is why the postharvest handling of 'Carmen Hass' is based on the criteria of 'Hass', without knowing the optimal temperature and storage timing to control the metabolism associated with maturation to prevent chilling injury and increase shelf life. The objective was to evaluate the effect of storage at refrigeration temperature in the changes associated with ripening, sensitivity to chilling injury and fruit quality of avocado 'Hass' and 'Carmen Hass'. For which, fruits of both cultivars were harvested and stored at room temperature (20 ± 2 °C) and 2, 4 and 6 weeks to 5 ± 1 °C. The variables evaluated were: ethylene production, weight lost, firmness, external and internal color, chlorophyll and carotenoid content (exocarp and mesocarp), concentration of ethanol and acetaldehyde, total phenolics and total and reducing sugars. A completely randomized experimental design with structure of the treatments was used, where the profiles or curves generated were compared; then a Tukey test ($\alpha=0.05$) was performed to find significant differences. In fruits ripened at environment, it was found that 'Carmen Hass' produced less ethylene, and at ripening it showed a more intense green purple external hue and increased the synthesis of ethanol and acetaldehyde as well as a lower concentration of total phenolics and total sugars, in comparison to cv. Hass. After 2 weeks of cooling, fruits of both cultivars matured, in normal way while the fruit stored for 4 to 6 weeks at the same temperature showed chilling injury.

Keywords: *Persea americana* Mill., ripening pattern, chilling injury.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento para realizar mis estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados por los conocimientos otorgados durante mi estancia y por brindarme el apoyo para efectuar mis estudios.

A los profesores que contribuyeron en mi formación académica y humana, y compartir sus conocimientos y experiencias profesionales.

Al Dr. Crescenciano Saucedo Veloz por su comprensión, consejos, paciencia y apreciables contribuciones para la realización del presente trabajo, y por su apoyo durante mi estancia en el Colegio de Postgraduados.

A la M. C. Cecilia García por su gran apoyo, confianza y aportaciones valiosas para la culminación del presente trabajo.

A la Dra. Daniela Saucedo Reyes por sus consejos y pertinentes comentarios para la mejora de proyecto de investigación.

Al M. C. Juan Manuel Palacios Alvarado por el apoyo dado durante nuestra estancia en Michoacán y por el material vegetal brindado para la realización de este proyecto de investigación.

Al M. C. David Jaen Contreras por los buenos consejos y buenos momentos que hace pasar a sus alumnos.

Al Sr. Arturo López Veloz por su ayuda en el área de laboratorio.

Al personal administrativo de fruticultura por su amabilidad durante mi estancia en el posgrado.

A Elisa M. R. por su amistad y apoyo para la culminación del presente trabajo.

A mis padres, Eva Flores Mejía y Crispín Rosas Castillo

A mis hermanas Yessell, Graciela y Eva María

A mi hijo Santiago Cervantes Rosas

A mi compañero de vida, Marco Antonio Cervantes García

A mi mamá Mary Mejía Jiménez

A mis primas Jazmín Marlen Flores Rojas y N. Nicole Flores

A mis amigos

CONTENIDO

RESUMEN.....	i
SUMARY.....	ii
LISTA DE CUADROS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	4
2.1 Objetivo general.....	4
2.2 Objetivos específicos.....	4
2.3 Hipótesis.....	4
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
3.1 Generalidades del cultivo.....	5
3.2 Cambios bioquímicos y fisiológicos durante el proceso de maduración.....	5
3.2.1 Respiración.....	6
3.2.2 Etileno en la maduración de los frutos.....	7
3.2.3 Cambios de color en cáscara y pulpa.....	9
3.2.4 Compuestos antioxidantes (carotenos, clorofila y antocianinas).....	10
3.2.4.1 Carotenos.....	11
3.2.4.2 Clorofila.....	12
3.2.4.3 Antocianinas.....	13
3.2.5 Azúcares reductores y totales.....	14
3.2.6 Fenoles Totales.....	14
3.2.7 Compuestos volátiles (etanol y acetaldehídos).....	15
3.3 Frigoconservación y daños por frío.....	16
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
4.1 Condiciones generales de los tratamientos.....	18
4.2 Variables evaluadas.....	19
4.2.1 Patrón de maduración.....	19
4.2.2 Producción de etileno.....	19
4.2.3 Pérdida de peso.....	20
4.2.4 Firmeza.....	20
4.2.5 Color en exocarpio y mesocarpio.....	21
4.2.6 Cuantificación de pigmentos.....	21
4.2.6.1 Extracción y cuantificación de clorofila en el exocarpio y mesocarpio..	21
4.2.6.2 Extracción y cuantificación de carotenos totales en el mesocarpio.....	22
4.2.7 Cuantificación del contenido de etanol y acetaldehídos.....	23
4.2.8 Determinación de azúcares totales y reductores.....	24

4.2.8.1 Extracción alcohólica de azúcares.....	24
4.2.8.2 Cuantificación de azúcares totales por el método antrona.	24
4.2.8.3 Cuantificación de azúcares reductores por el método Nelson-Somogyi.	24
4.2.9 Determinación del contenido de fenoles totales.	25
4.2.9.1 Extracción de fenoles totales.	25
4.2.9.2 Cuantificación del contenido de fenoles totales	25
4.3 Diseño experimental y análisis estadístico.	26
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
5.1 Almacenamiento al ambiente.....	27
5.1.1 Patrón de maduración.....	27
5.1.2 Pérdida de peso.	28
5.1.3 Firmeza.....	29
5.1.4 Cambios de color en el exocarpio (cáscara).....	31
5.1.5 Cambios de color en el mesocarpio (pulpa).....	34
5.1.6 Concentración de clorofila en el exocarpio.....	36
5.1.7 Concentración de clorofila y carotenos en el mesocarpio.....	37
5.1.8 Concentración de etanol y acetaldehídos	38
5.1.9 Concentración de fenoles totales.....	40
5.1.10 Concentración de azúcares totales y reductores.....	41
5.2 Almacenamiento en refrigeración.....	43
5.2.1 Patrón de maduración.....	43
5.2.2 Pérdida de peso.	48
5.2.3 Firmeza.....	51
5.2.4 Cambios de color durante la maduración.....	54
5.2.4.1 Exocarpio.....	54
5.2.4.2 Mesocarpio.	62
5.2.5 Concentración de pigmentos.....	69
5.2.5.1 Concentración de clorofila en el exocarpio.....	69
5.2.5.2 Concentración de clorofila y carotenos en el mesocarpio.....	72
5.2.6 Concentración de etanol y acetaldehídos.....	75
5.2.7 Concentración de fenoles totales.....	80
5.2.8 Concentración de azúcares totales y reductores.....	83
VI. CONCLUSIONES	87
VII. LITERATURA CITADA.....	91
ANEXOS	103

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Período de cosecha del aguacate de acuerdo al tipo de floración.....	2
Cuadro 2. Concentración de clorofila en exocarpio (cáscara) de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente a 20 ± 2 °C.....	37
Cuadro 3. Concentración de clorofila en mesocarpio (pulpa) de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente a 20 ± 2 °C.....	38
Cuadro 4. Producción de etileno, pérdida de peso y pérdida de firmeza promedio durante el proceso de maduración en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente (20 ± 2 °C) y por 2, 4 y 6 semanas a 5 ± 1 °C.	47
Cuadro 5. Cambio de color externo promedio durante el proceso de maduración en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente (20 ± 2 °C) y por 2, 4 y 6 semanas a 5 ± 1 °C.....	60
Cuadro 6. Cambio de color interno promedio durante el proceso de maduración en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente (20 ± 2 °C) y por 2, 4 y 6 semanas a 5 ± 1 °C.....	67
Cuadro 7. Concentración de clorofila en cáscara de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente (20 ± 2 °C) y por 2, 4 y 6 semanas a 5 ± 1 °C.....	71
Cuadro 8. Concentración de clorofila y carotenos en pulpa de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente (20 ± 2 °C) y por 2, 4 y 6 semanas a 5 ± 1 °C.....	74
Cuadro 9. Concentración de etanol, acetaldehídos y fenoles totales en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente (20 ± 2 °C) y por 2, 4 y 6 semanas a 5 ± 1 °C.....	79
Cuadro 10. Concentración de azúcares totales y reductores en pulpa de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente (20 ± 2 °C) y por 2, 4 y 6 semanas a 5 ± 1 °C.....	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ruta de la biosíntesis del etileno y ciclo de la metionina. ACS, 1-aminociclopropano-1-carboxilato sintasa; MACC, ácido 1-(malonilamino) ciclopropano-1-carboxílico; ACO, 1-aminociclopropano-1-carboxilato oxidasa.....	9
Figura 2. Estructura molecular de clorofila <i>a</i> y <i>b</i>	13
Figura 3. Comportamiento de la producción de etileno, durante el proceso de maduración, en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente a 20±2 °C.....	28
Figura 4. Comportamiento de la pérdida de peso, durante el proceso de maduración, en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente a 20±2 °C.	29
Figura 5. Comportamiento de la pérdida de firmeza, durante el proceso de maduración, en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente a 20±2 °C..	30
Figura 6. Comportamiento de los componentes del color en exocarpio (cáscara) durante el proceso de maduración, en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente a 20±2 °C.....	33
Figura 7. Cambio de color en el mesocarpio (pulpa) durante el proceso de maduración, en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente a 20±2 °C.	35
Figura 8. Comportamiento de la concentración de etanol (A) y acetaldehídos (B) en pulpa de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ madurados al ambiente a 20±2°C. Medias ± desviación estándar para n=3.	40
Figura 9. Comportamiento de la concentración de fenoles totales, durante el proceso de maduración, en pulpa de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente a 20±2 °C. Medias ± desviación estándar para n=3.	41
Figura 10. Comportamiento de la concentración de azúcares totales y reductores en pulpa de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ madurados al ambiente a 20±2 °C. Medias ± desviación estándar para n=3.	43
Figura 11. Comportamiento de la producción de etileno, durante el proceso de maduración, en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados por 2 semanas (A), 4 semanas (B) y 6 semanas (C) a 5±1 °C. Medias ± desviación estándar para n=3. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.	46
Figura 12. Comportamiento de la pérdida de peso, durante el proceso de maduración, en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente a	

	20±2 °C. Medias ± desviación estándar para n=3. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.	50
Figura 13.	Comportamiento de la pérdida de firmeza, durante el proceso de maduración, en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente a 20±2 °C. Medias ± desviación estándar para n=3. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.	53
Figura 14.	Comportamiento del índice de color, durante el proceso de maduración, en frutos.....	56
	de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados por 2 semanas (A), 4 semanas (B) y 6 semanas (C) a 5±1 °C. Medias ± desviación estándar para n=3. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.	56
Figura 15.	Comportamiento de la luminosidad, durante el proceso de maduración, en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados por 2 semanas (A), 4 semanas (B) y 6 semanas (C) a 5±1 °C. Medias ± desviación estándar para n=3. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.	57
Figura 16.	Comportamiento del índice de saturación (croma), durante el proceso de maduración, en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados por 2 semanas (A), 4 semanas (B) y 6 semanas (C) a 5±1 °C. Medias ± desviación estándar para n=3. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.	58
Figura 17.	Comportamiento del ángulo de tono, durante el proceso de maduración, en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados por 2 semanas (A), 4 semanas (B) y 6 semanas (C) a 5±1 °C. Medias ± desviación estándar para n=3. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.	59
Figura 18.	Cambios de color en el exocarpio, durante el proceso de maduración, de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente (20 ± 2 °C) y por 2 semanas, 4 semanas y 6 semanas a 5 ± 1°C.	61
Figura 19.	Comportamiento de la luminosidad, durante el proceso de maduración, en pulpa de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados por 2 semanas (A), 4 semanas (B) y 6 semanas (C) a 5 ± 1 °C. Medias ± desviación estándar para n=3. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.	64
Figura 20.	Comportamiento del índice de saturación (croma), durante el proceso de maduración, en pulpa de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados por 2 semanas (A), 4 semanas (B) y 6 semanas (C) a 5 ± 1 °C. Medias ± desviación estándar para n=3. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.	65
Figura 21.	Comportamiento del ángulo de tono, durante el proceso de maduración, en pulpa de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados por 2 semanas (A), 4 semanas (B) y 6 semanas (C) a 5 ± 1 °C. Medias ± desviación estándar para n=3. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.	66

Figura 22. Cambios de color en el mesocarpio, durante el proceso de maduración, de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente (20 ± 2 °C), por 2 semanas, 4 semanas y 6 semanas a 5 ± 1 °C.	68
Figura 23. Comportamiento de la concentración de etanol (A) y acetaldehídos (B) durante el proceso de maduración de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados durante 2 semanas a 5 ± 1 °C. Medias \pm desviación estándar para n=3. MF: madurez fisiológica, S:salida de refrigeración.	76
Figura 24. Comportamiento de la concentración de etanol (A) y acetaldehídos (B) durante el proceso de maduración de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados durante 4 semanas a 5 ± 1 °C. Medias \pm desviación estándar para n=3. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.	77
Figura 25. Comportamiento de la concentración de etanol (A) y acetaldehídos (B) durante el proceso de maduración de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados durante 6 semanas a 5 ± 1 °C. Medias \pm desviación estándar para n=3. MF: madurez fisiológica, S:salida de refrigeración.	78
Figura 26. Comportamiento de la concentración de fenoles totales, durante el proceso de maduración, en pulpa de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados durante 2 semanas (A), 4 semanas (B) y 6 semanas (C) a 5 ± 1 °C. Medias \pm desviación estándar para n=3. MF: madurez fisiológica, S:salida de refrigeración.	82
Figura 27. Comportamiento de la concentración de azúcares totales (A) y reductores (B), durante el proceso de maduración, en pulpa de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados durante 2 semanas a 5 ± 1 °C. Medias \pm desviación estándar para n=3. MF: madurez fisiológica, S:salida de refrigeración.	84
Figura 28. Comportamiento de la concentración de azúcares totales (A) y reductores (B) durante el proceso de maduración en pulpa de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados durante 4 semanas a 5 ± 1 °C. Medias \pm desviación estándar para n=3. MF: madurez fisiológica, S:salida de refrigeración.	85
Figura 29. Comportamiento de la concentración de azúcares totales (A) y reductores (B) durante el proceso de maduración en pulpa de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados durante 6 semanas a 5 ± 1 °C. Medias \pm desviación estándar para n=3. MF: madurez fisiológica, S:salida de refrigeración.	85

I. INTRODUCCIÓN.

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es un cultivo de importancia socioeconómica en México, derivado de los beneficios que genera entre los participantes de la cadena productiva (Téliz y Marroquín, 2007). Es la cuarta fruta tropical más importante en el mundo y su producción ha mostrado una tendencia creciente en cuanto a superficie cultivada y volumen de producción (Rubí-Arriaga *et al.*, 2013). México es el principal productor de aguacate a nivel mundial, para el año 2013, alcanzó una producción de 1 467 837.00 t de las cuales cerca del 27 % se destinó a exportación, lo que implica que en su mayoría se destina al mercado nacional (FAOSTAT, 2015).

En el estado de Michoacán, donde se produce el mayor volumen de aguacate, se localiza la denominada franja aguacatera constituida por 22 municipios con cerca del 90% plantado con el cultivar Hass (Naamani, 2007; Gutiérrez- Contreras *et al.*, 2010). Para el año 2013, la producción del estado fue de 1 193 751.21 t, siendo los principales municipios productores: Ario, Periban, Salvador Escalante, Tacámbaro, Tancitaro y Uruapan (Gutiérrez- Contreras *et al.*, 2010; SIAP, 2012).

Debido a que los huertos de aguacate se encuentran establecidos en altitudes desde 1100 hasta 2500 m, la floración presenta cuatro flujos; la loca, que es la más temprana y se presenta de agosto a septiembre; la avanzada, de octubre a noviembre; la normal, de diciembre a enero; y la marceña, que ocurre en marzo (Salazar-García *et al.*, 2005; Salazar-García *et al.*, 2007; Rocha-Arroyo *et al.* 2011). La temporada alta de la cosecha de aguacate se encuentra entre los meses de octubre a febrero, frutos provenientes de los tipos de flor

normal y avanzada; la temporada media ocurre de marzo a mayo (floración marceña); y finalmente, en los meses de junio a septiembre, se presenta la temporada baja resultante de la floración marceña y loca. Los distintos flujos de floración y su traslape entre las distintas zonas de altura, hacen posible que en Michoacán se coseche aguacate durante todo el año (Cuadro 1) (Salazar-García *et al.*, 2005).

Cuadro 1. Período de cosecha del aguacate de acuerdo al tipo de floración.

Tipo de floración	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Normal (Dic-Ene)												
Marceña (Mar)												
Loca (Ago-Sep)												
Avanzada (Oct-Nov)												

Fuente: Domínguez (2014)

El cultivar Carmen Hass es fenotípicamente similar a ‘Hass’; sin embargo, su floración se presenta como “fuera de temporada”, de agosto a septiembre, por lo que su cosecha se da en junio y julio, ya que el fruto alcanza su madurez fisiológica en nueve o diez meses, con un importante contenido de aceite por lo que, de acuerdo con Campos *et al.* (2011), sus características físico-químicas y organolépticas son similares al cv. Hass; asimismo, se ha señalado que el fruto es resistente a pudriciones y tolerante a las bajas temperaturas requeridas para el transporte (Illsley *et al.*, 2011). Cabe resaltar que su producción es durante un periodo crítico de alta demanda (junio a septiembre) cuando la oferta interna es

baja y los precios se elevan, lo que resulta deseable para los productores; motivo por el cual las plantaciones de este cultivar se han venido incrementando, se estima que en México se tienen plantadas alrededor de 5 000 a 6 000 ha con un rendimiento promedio de 26.5 t/ha (Illesy *et al.*, 2011).

Las exportaciones mexicanas de aguacate cv. Hass están concentradas principalmente en tres mercados: EE.UU., Japón y Canadá (SAGARPA, 2011), y la principal forma de comercialización es mediante el uso de refrigeración y/o atmosferas controladas. Actualmente, para el manejo postcosecha de cv. Carmen Hass se aplican los mismos criterios que para el cultivar Hass convencional; por lo que es necesario conocer las temperaturas y tiempos de almacenamiento óptimos para controlar el metabolismo relacionado con la maduración, evitando daños por frío, y que permitan incrementar la vida útil del producto sin afectar su calidad final; además de confirmar que su comportamiento postcosecha es similar a 'Hass'.

II. OBJETIVOS.

2.1 Objetivo general.

- Evaluar el efecto del tiempo de refrigeración a 5 ± 1 °C en los cambios asociados a la maduración, sensibilidad a daños por frío y calidad de frutos de aguacate ‘Hass’ y ‘Carmen Hass’.

2.2 Objetivos específicos.

- Determinar el patrón de maduración de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’, almacenados a 20 ± 2 °C.
- Evaluar el efecto del tiempo de frigoconservación por 2, 4 y 6 semanas sobre el metabolismo relacionado con la maduración de los frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’.
- Evaluar la influencia de los daños por frío en la biosíntesis de etileno en ambos cultivares.

2.3 Hipótesis.

- El tiempo de refrigeración establecido no afecta el metabolismo asociado a la maduración en ambos cultivares.
- La biosíntesis de etileno se relaciona con la sensibilidad a daños por frío en ambos cultivares.
- La calidad de los frutos es la misma en ambos cultivares, tras los diferentes períodos de refrigeración.

III. REVISIÓN DE LITERATURA.

3.1 Generalidades del cultivo.

El aguacate es nativo de América y, México es uno de los países con gran diversidad de tipos de aguacate (Williams, 1977; Bergh, 1992). La variedad Hass es el principal cultivar comercial en el mundo, el peso del fruto varía de 170 a 350 g, de pulpa cremosa, sin fibra, con un contenido de aceite de 22.88 % en base húmeda, cáscara ligeramente coriácea, rugosa y de color púrpura al madurar; de buen rendimiento (7.8 a 13.4 t/ha) y el fruto puede mantenerse en el árbol por algunos meses una vez alcanzada la madurez fisiológica (Gustafson y Rock, 1976; Téliz y Marroquín, 2007, Buelvas-Salgado *et al.*, 2012).

3.2 Cambios bioquímicos y fisiológicos durante el proceso de maduración.

El proceso de maduración implica diferentes fases que deben cumplirse en toda su magnitud para poder ofertar un producto de calidad comercial y comestible al consumidor (Díaz, 2002). Dado que la mayoría de los cambios están relacionados con el climaterio respiratorio, el periodo de maduración de las frutas es subdividido en tres etapas: pre climaterio, climaterio y post climaterio. En la maduración, una vez que la producción de etileno se inicia, el proceso es irreversible e incontrolable (Khan, 2006). La maduración del aguacate involucra una variedad de cambios bioquímicos que incluyen incrementos en la producción de etileno y en la respiración, así como el ablandamiento de la pulpa y desarrollo de los componentes de sabor (Seymor y Tocker, 1993).

La temperatura es el factor ambiental más efectivo para controlar la maduración de los productos hortofrutícolas; sin embargo, para asegurar una conservación exitosa se requiere manejar correctamente este factor ya que, un almacenamiento a una temperatura menor a 3 °C, limita la vida de anaquel del aguacate afectando su calidad postcosecha (Lyons *et al.*, 1979; Morris, 1982; Woolf *et al.*, 2002).

3.2.1 Respiración.

Los frutos climatéricos se distinguen por el aumento de respiración, la intensidad y duración de tal incremento resulta diferente según la especie frutal ya que, para el aguacate, la respiración es muy pronunciada pero de corta duración; no obstante, el fruto no alcanza la madurez comestible en tanto no se separe del árbol (Sitrit *et al.*, 1986; Díaz, 2002).

Durante el proceso de maduración, el fruto de aguacate puede producir elevadas cantidades de dióxido de carbono desde 80 hasta 300 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ a 20 °C (Arpaia, 2005). Eaks (1983) mostró que frutos de aguacate ‘Hass’, almacenados a 10°C por dos semanas, alcanzaron el climaterio 4 días después de su exposición a temperatura de maduración (20 °C). De acuerdo con Zhang *et al.* (2011), la máxima respiración de aguacate ‘Booth 7’ tratado en pre climaterio con 1.86 y 9.3 μmol m⁻³ de 1-MCP alcanzó 63.5 y 65 μg kg⁻¹s⁻¹ a 12 y 15 días respectivamente. Villa-Rodríguez *et al.* (2010) reportaron para frutos de aguacate ‘Hass’, cosechados en Uruapan (Michoacán) y transportados en refrigeración (6±1 °C), un incremento en la respiración y producción de etileno durante 14 días de almacenamiento a 15°C, alcanzando el máximo climaterio al sexto día.

3.2.2 Etileno en la maduración de los frutos.

El etileno es un gas formado por una simple estructura, C_2H_4 ; sin embargo, es un potente modulador del crecimiento y desarrollo de la planta, dentro de la cual, tiene bastante movilidad ya que es una molécula muy pequeña que le permite el proceso de difusión; también, es soluble en agua y en sistemas lipofílicos (Ecker, 1995; Díaz, 2002). Diversos aspectos del ciclo de vida de las plantas, incluida la germinación de las semillas, iniciación de las raíces, el desarrollo de las flores, así como el crecimiento, maduración y senescencia del fruto, y las respuestas a estrés biótico (ataque de patógenos) y abiótico (heridas, hipoxia o daños por frío), son reguladas por el etileno (Abeles *et al.*, 1992; Bleecker y Kende, 2000; Zhefeng *et al.*, 2009).

El incremento en la respiración y la producción de etileno en frutos climatéricos es de suma importancia al inicio del periodo de maduración. El etileno genera una señal durante este periodo motivo por el cual comienzan muchos cambios como conversión de almidón a azúcares libres, cambios en el pH, desarrollo de aromas, degradación de clorofilas, síntesis de carotenoides, así como ablandamiento de cáscara y pulpa (Gray *et al.*, 1992; Seymour *et al.*, 1993).

La ruta biosintética del etileno tiene como precursor al aminoácido metionina, que se asocia a la adenosina para conformar la *S*-adenosilmetionina (SAM), posteriormente ocurre la conversión de este intermediario, a través de la enzima ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico sintasa, ACS, en 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC), la enzima ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico oxidasa (ACO) es responsable de la oxidación del ACC a

etileno y liberación de CO₂, lo que constituye la última etapa de su biosíntesis (Bleecker y Kende, 2000; Bolívar-Fernández *et al.*, 2011) (Figura 1).

De acuerdo con Arpaia (2005), la producción de etileno durante la maduración del fruto es alta (<100 μL kg⁻¹ h⁻¹ a 20°C). Villa-Rodríguez *et al.* (2010) encontraron para frutos de aguacate ‘Hass’, almacenados a 15°C, una máxima producción de etileno de 280 μL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹. Hershkovitz *et al.* (2010) obtuvieron en aguacate ‘Arad’, almacenado a 20 °C, el pico climatérico al cuarto día de la cosecha, con una producción de etileno de 120 μL kg⁻¹ h⁻¹.

La segunda enzima importante en la ruta de biosíntesis de etileno es la ACC oxidasa (ACO); anteriormente, conocida como enzima formadora de etileno (EFE) ya que, la producción de etileno en los diferentes órganos de la planta, está relacionado directamente con la actividad de la ACO y, esta enzima, cataliza la formación de etileno con ACC y O₂ como sustratos (Sanders y Wild, 2003). La actividad de la ACO aumenta antes del incremento de la actividad de la ACC sintasa (ACS) (Lui *et al.*, 1985; McGarvey y Christoffersen, 1991). Hoffman y Yang (1980) reportaron para aguacate ‘Fuerte’ que en la fase pre climatérica contenía menor concentración de ACC (0.1 ηmol g⁻¹); luego, el nivel aumentó a 45 ηmol g⁻¹ en el climaterio, y más tarde se incrementó a 100 ηmol g⁻¹ una vez que el fruto maduró (9 días después del pico climatérico).

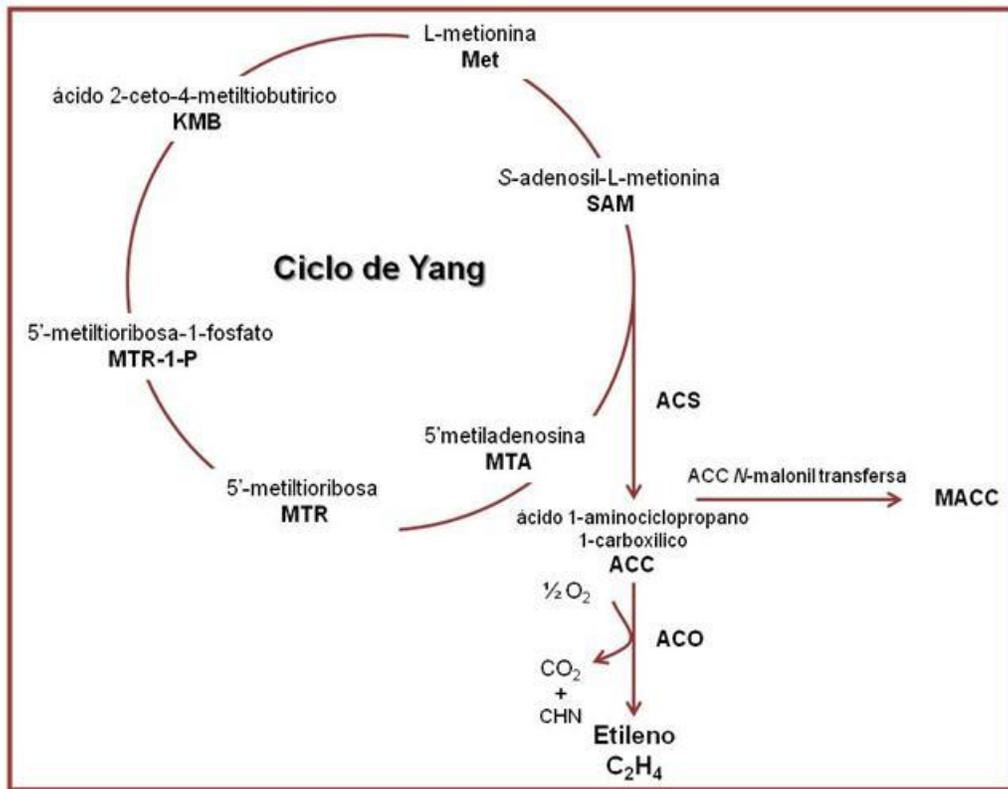


Figura 1. Ruta de la biosíntesis del etileno y ciclo de la metionina. ACS, 1-aminociclopropano-1-carboxilato sintasa; MACC, ácido 1-(malonilamino)ciclopropano-1-carboxílico; ACO, 1-aminociclopropano-1-carboxilato oxidasa (Bleecker y Kende, 2000; Bulens *et al.*, 2011).

3.2.3 Cambios de color en cáscara y pulpa.

Durante el proceso de maduración la cáscara de frutos de aguacate ‘Hass’ cambia de verde a púrpura/negro, dicho cambio es de suma importancia para la industria y los consumidores debido a que es un indicativo de que la fruta ha madurado (Cox *et al.*, 2004). Ashton *et al.* (2006) reportaron para frutos de aguacate ‘Hass’, madurados a 20 °C, el color de la cáscara el cual disminuyó en luminosidad (de 40 a 27 L) y en índice de saturación (15 a 3 croma), pero el ángulo de tono incrementó (de 100 a 220 hue°); para el caso de la pulpa, el color

mostró cambios significativos durante el periodo de maduración, el índice de saturación disminuyó (43 a 35 croma), de manera similar la luminosidad (74 a 64 L), así como el ángulo de tono (113 a 101 hue°), es decir, de un verde oscuro a un tejido de pulpa amarillo.

Por otro lado, Villa-Rodríguez *et al.* (2010) reportaron para frutos de aguacate ‘Hass’, almacenado a 6 ± 1 °C, que durante su maduración disminuyeron los valores del ángulo de tono (122 a 77 hue°), del índice de saturación (22 a 6.8 croma) y de la luminosidad (33 a 24 L). De igual forma, Cox *et al.* (2004) reportaron disminución en los componentes del color ángulo de tono (120 a 70 hue°), índice de saturación (23 a 4 croma) y luminosidad (35 a 25 L) en frutos ‘Hass’ expuestos a temperatura de 25°C durante 12 días.

3.2.4 Compuestos antioxidantes (carotenos, clorofila y antocianinas).

El color es una propiedad de la materia directamente relacionada con el espectro de la luz, el ojo humano solo puede percibirlo cuando su energía corresponde a una longitud de onda entre 380 y 780 nm. La mayoría de los pigmentos naturales se localizan en el protoplasma de las células dentro de los organelos especializados llamados plástidos, que se observan al microscopio formando pequeñas placas o agujas de estructura cristalina; en algunos casos, cuando son solubles en agua, se encuentran disueltos en las vacuolas de las células (Badui, 2006).

Los pigmentos naturales de origen vegetal difieren ampliamente en su estructura. De acuerdo con Badui (2006) estos pueden agruparse en las siguientes categorías:

- Carotenoides.

- Clorofilas.
- Pigmento fenólicos: flavonoides, antocianinas y taninos.
- Betalaínas.

3.2.4.1 Carotenos.

La principal función de los pigmentos carotenoides es captar la energía luminosa que es luego transferida a las clorofilas para ser transformada durante la fotosíntesis (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004). Debido a la presencia en su molécula de un cromóforo consistente total o principalmente en una cadena de dobles enlaces conjugados, estos compuestos proporcionan a los productos hortofrutícolas los colores amarillos, anaranjados y rojizos (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004; Badui, 2006).

Los carotenos se dividen en dos grupos: los carotenos que son hidrocarburos y las xantofilas, sus derivados oxigenados. Los carotenos son muy solubles en el éter de petróleo, entre los que destacan los α -, β - y γ -caroteno. Compuestos como α - y β -caroteno, así como la β -criptoxantina son provitaminas A. Estudios recientes han puesto de manifiesto las propiedades antioxidantes de estos pigmentos y su eficacia en la prevención de ciertas enfermedades del ser humano, por lo que el interés por estos pigmentos va en aumento (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004).

Wang *et al.* (2010) mencionan que para frutos ‘Hass’ el contenido total de carotenos en pulpa es de $7.1 \mu\text{g g}^{-1}$, mientras que Heinonen *et al.* (1989) reportan para aguacate una concentración de $19 \mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$ de α -caroteno y $34 \mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$ de β -caroteno. Ashton *et al.*

(2006) no encontraron diferencias significativas en el contenido total de carotenoides en pulpa de frutos de aguacate ‘Hass’ almacenado a 20 °C; sin embargo, reportaron concentraciones de 1.8, 0.4 y 0.3 $\mu\text{g g}^{-1}$ para tejido verde oscuro, verde pálido y pulpa amarilla, respectivamente.

3.2.4.2 Clorofila.

Los espectros de absorción de la clorofila y sus derivados son específicos de cada compuesto, con dos picos de absorción máxima, uno en la región del rojo (640 a 660 nm) que da el color verde de los derivados de la clorofila y otro en la región cercana a 440 nm, este último llamado la banda de Soret. La estructura de las clorofilas es de una dihidropofirina, compuesta por cuatro pirroles y un anillo de ciclopentanona, el núcleo es el cromóforo y es el responsable de absorber en la región visible (Berset y Caniaux, 1983; Badui, 2006) (Figura 2).

Wang *et al.* (2010) encontraron que, para frutos ‘Hass’, el contenido total de clorofila en cáscara es de $28.8 \pm 6.2 \mu\text{g g}^{-1}$ (clorofila a: $19.2 \pm 3.6 \mu\text{g g}^{-1}$, y clorofila b: $9.5 \pm 2.9 \mu\text{g g}^{-1}$), mientras que para pulpa es de $28.7 \pm 3.3 \mu\text{g g}^{-1}$ (clorofila a: $14.8 \pm 1.9 \mu\text{g g}^{-1}$ y clorofila b: $13.8 \pm 4.9 \mu\text{g g}^{-1}$). Por otro lado, Cox *et al.* (2004) reportaron para frutos ‘Hass’, expuestos a 25 °C durante 12 días, una disminución del contenido de clorofila en cáscara durante el proceso de maduración, para clorofila a, obtuvieron un valor inicial de 0.45 mg g^{-1} y final de 0.25 mg g^{-1} ; mientras que para clorofila b, un contenido inicial de 0.17 mg g^{-1} y final de 0.10 mg g^{-1} .

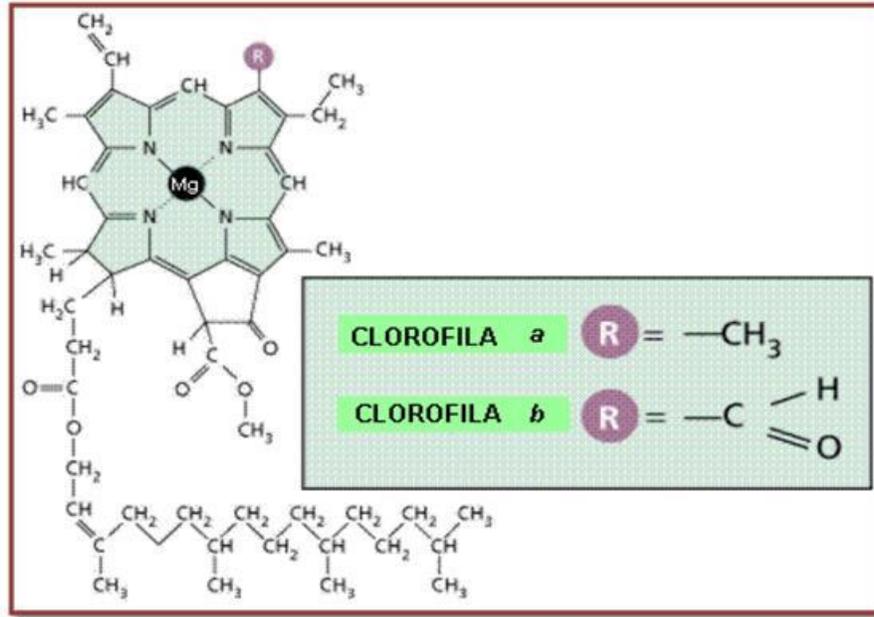


Figura 2. Estructura molecular de clorofila *a* y *b* (Manrique, 2003).

3.2.4.3. Antocianinas.

Las antocianinas se consideran una subclase de los flavonoides, son compuestos vegetales no nitrogenados y su coloración va desde incoloro hasta purpura (Badui, 2006). Cox *et al.* (2004) encontraron que el contenido de antocianinas totales incrementa en la cáscara de frutos de aguacate ‘Hass’ conforme transcurre la maduración a 25 °C, de 150 a 375 mg kg⁻¹. Ashton *et al.* (2006) determinaron las concentraciones de antocianinas en cáscara de aguacate ‘Hass’, durante una maduración a 20°C, reportando que después del cuarto día, la cantidad de antocianinas totales se incrementó y, en el día 13, alcanzó una concentración de 235 µg g⁻¹.

3.2.5 Azúcares reductores y totales.

Los carbohidratos son los compuestos mayormente requeridos para el proceso de respiración, por lo que estos disminuyen durante el proceso de maduración (Mann, 1987; Liu *et al.*, 1999; Meyer y Terry, 2010). De acuerdo con Bean (1958) en pulpa de aguacate ‘Zutano’, una vez alcanzada su madurez de consumo, el contenido de azúcares totales fue de 12.6 mg de glucosa g^{-1} de pulpa fresca y, para azúcares reductores, reportó una concentración de 4.9 mg de fructosa g^{-1} de pulpa fresca. Blakey (2011) reportó en aguacate ‘Hass’ a 21°C, una máxima concentración de glucosa al día 10 de 1.76 mg g^{-1} y de fructosa de 6.2 mg g^{-1} .

3.2.6 Fenoles Totales.

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios en plantas que incluyen una gran variedad de compuestos, entre ellos, ácidos fenólicos, flavonoides y taninos (Terry, 2011). Los fenoles y flavonoides son compuestos bioactivos que han sido relacionados con la disminución de diferentes procesos deteriorativos en el cuerpo humano debido a su habilidad de reducir la formación de radicales libres (Villa-Rodríguez *et al.*, 2010).

Los ácidos fenólicos generalmente se encuentran en la vacuola celular o en tejidos especiales, y son precursores de muchos otros fitoquímicos. La concentración de estos compuestos y la actividad de la enzima polifenol oxidasa (PPO) tienen una estrecha relación en el proceso de oscurecimiento del fruto. Cuando la integridad de la membrana

celular es baja, los fenoles son liberados y oxidados en quininas las cuales a su vez forma melaninas, éstas son las responsables de la coloración café del fruto (Torres *et al.*, 1987).

El contenido fenólico en aguacate varía de acuerdo al cultivar, tipo de tejido y etapa de madurez del fruto. Villa-Rodríguez *et al.* (2010) encontraron que el contenido de fenoles totales se incrementa durante el proceso de maduración de 16.60 a 31.88 mg ácido gálico 100 g⁻¹ peso fresco. Haiyan *et al.* (2007) emplearon el método Folin-Ciocalteu para cuantificar el contenido de fenoles totales en aguacate ¿qué variedad?, reportando una concentración de 0.50 mg ácido cafeico g⁻¹ peso fresco.

3.2.7 Compuestos volátiles (etanol y acetaldehídos).

La producción de metabolitos anaeróbicos, acetaldehídos y etanol, son de importancia durante la maduración de frutos, debido a que son precursores de los compuestos de aroma natural de los frutos, además contribuyen a la remoción de la astringencia presente en el (Knee y Hatfield, 1981; Pesis, 2005).

El acetaldehído es un componente del aroma natural de los frutos y se acumula durante la maduración, incluso bajo condiciones aeróbicas (Fidler, 1968). El acetaldehído en frutos es formado a partir del piruvato, por acción de la enzima piruvato descarboxilasa, posteriormente el acetaldehído se reduce a etanol por efecto de la enzima alcohol deshidrogenasa (Pesis, 2005; Melo y Cuamatzi, 2007). Pesis *et al.* (1998) cuantificaron, en frutos de aguacate cv. Fuerte donde, tras un almacenamiento a 17 °C por 4 días, observaron una disminución de 0.76 a 0.03 µg g⁻¹ de acetaldehídos y de 7.21 a 1.67 µg g⁻¹ de etanol.

3.3 Frigoconservación y daños por frío.

El manejo de la temperatura influye en el control de la maduración de los productos hortofrutícolas; sin embargo, para asegurar una conservación exitosa se requiere manejar correctamente este factor. No obstante, algunos frutos, particularmente los de origen tropical o subtropical sufren daños por frío, aún a temperaturas muy por arriba del punto de congelación (Lyons *et al.*, 1979; Morris, 1982; Couey, 1982). El aguacate, por ser un fruto de origen subtropical y tropical, no puede ser almacenado a bajas temperaturas por periodos prolongados, generalmente, se recomiendan temperaturas entre 3 y 7 °C. Los síntomas de daños por frío en frutos de aguacate incluyen una decoloración interna de la pulpa (pulpa manchada, gris y oscurecimiento vascular) (Whiley *et al.*, 2002).

Corrales-García y Tlapa-Rangel (1999) encontraron en aguacate cv. Hass que los daños por frío en pulpa (oscurecimiento) fueron cuantificados por absorbancia y por evaluación visual de la epidermis, y tendieron a aumentar conforme disminuyó la temperatura y aumentó el período de frigoconservación; además, de que los daños por frío externos (en la epidermis) se manifestaron con mayor severidad en los frutos almacenados a la menor temperatura (2°C), pero a nivel interno (en pulpa) estos daños fueron, en general, de baja intensidad y no hubo diferencias significativas por temperaturas.

Eaks (1983) reportó que en frutos de aguacate almacenados a 5°C mostraron patrones de respiración normal y no presentaron daños por frío, mientras que los frutos expuestos a 5 °C por 4 y 6 semanas presentaron daños por frío y una reducción en la tasa de producción de etileno asociada al ablandamiento del fruto.

Los síntomas de daños por frío en frutos de aguacate se expresan como una decoloración marrón, resultado de la combinación de etileno en el tejido y la baja temperatura de almacenamiento (Pesis *et al.*, 2002). Este oscurecimiento se le atribuye a la actividad de la enzima polifenol oxidasa, la cual a la vez se relaciona con el contenido de fenoles (Van Lelyveld y Bower, 1984).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS.

4.1 Condiciones generales de los tratamientos.

Se cosecharon frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ (267.90 ± 7.01 g y 24.33 ± 0.57 % de materia seca) y ‘Hass’ (340.00 ± 8.50 g y 24.00 ± 1.00 % de materia seca), los cuales, de acuerdo a la norma NMX-FF-016-SCFI-2006, se ubicaron por arriba del contenido mínimo de materia seca requerido para su cosecha de 21.5% por lo que fisiológicamente se consideró que los frutos se encontraron en fase de madurez fisiológica (Anexo 1). La cosecha se realizó el 31 de octubre de 2013 en el municipio de Salvador Escalante, Michoacán. Luego, se trasladaron, en un tiempo de 12 h, al laboratorio de fisiología postcosecha, ubicado en el Colegio de Postgraduados campus Montecillo, Texcoco, estado de México. Previo al establecimiento del experimento los frutos se lavaron y se eliminaron aquellos que presentaron daños externos; posteriormente se almacenaron directamente al ambiente (20 ± 2 °C) y por 2, 4 y 6 semanas a 5 ± 1 °C, seguido de un almacenamiento a temperatura ambiente (20 ± 2 °C) hasta alcanzar su maduración. Para cada tratamiento se emplearon 60 frutos, de los cuales se usaron 2 con 3 repeticiones (total de 6 frutos) para producción de etileno, pérdida de peso y cambios de color externo durante el proceso de maduración; en la variable patrón de maduración se utilizaron 25 frutos y en las variables destructivas se destinaron 2 frutos con 3 repeticiones en cada evaluación.

4.2 Variables evaluadas.

4.2.1 Patrón de maduración.

Se llevó a cabo el registro de datos con base al tiempo requerido para alcanzar la madurez de consumo y fue realizado mediante cambios al tacto. Esta determinación refiere a un atributo de dureza, la escala (de intensidad) se definió en tres grados: duros (frutos en madurez fisiológica), cambiantes (en proceso de ablandamiento) y suaves (madurez de consumo).

4.2.2 Producción de etileno.

La variable se cuantificó, por cromatografía de gases de acuerdo al método del espacio de cabeza descrito por Salveit y Sharaf (1992). Cada unidad experimental consistió en 2 frutos que se colocaron en una cámara hermética de 2.12 L, y se mantuvo cerrada por 1 h. Transcurrido el tiempo, se tomó 1 mL del gas del espacio de cabeza y se inyectó a un cromatógrafo de gases Hewlett Packar (modelo 5890 serie II), con una columna tipo abierta con empaque de capa porosa de sílica, conectado simultáneamente a un detector de ionización de flama (FID) y un detector de conductividad térmica (TCD). Las condiciones de lectura se realizaron bajo las siguientes temperaturas: columna = 150 °C, FID = 180 °C y TCD = 180 °C. También, se inyectó el estándar de etileno (INFRA®) cuya concentración fue de 20 $\mu\text{L L}^{-1}$. Las determinaciones se llevaron a cabo cada tercer día hasta alcanzar la madurez de consumo y los datos se reportaron como $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1}\text{h}^{-1}$. Las concentraciones de las muestras se determinaron bajo la siguiente ecuación 1:

$$\mu L C_2H_4 kg^{-1} h^{-1} = \frac{(Am * Ce)(Vr - Vf)}{Ae * Pf * Tr} \quad (\text{ecuación 1})$$

Dónde:

Am: área de la muestra (mV)

Ce: concentración de estándar (μL/L)

Vr: volumen total del recipiente (mL)

Vp: volumen desplazado por el fruto (mL)

Ae: área del estándar (mV)

Pf: peso del fruto (g)

Tr: tiempo de respiración (h)

4.2.3 Pérdida de peso.

Esta variable se evaluó mediante una báscula digital ALSEP EY-2200 al inicio y a la salida de la frigoconservación, y durante el almacenamiento a temperatura de maduración hasta que los frutos alcanzaron su madurez de consumo. La pérdida de peso se expresó como el porcentaje de la diferencia de peso con respecto al peso inicial, para lo cual se aplicó la siguiente ecuación 2:

$$\% \text{ pérdida de peso} = \left(\frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} \right) * 100 \quad (\text{ecuación 2})$$

4.2.4 Firmeza.

La firmeza se determinó con un texturómetro chantillón (Wagner Force Five modelo FDV-30), con puntal cónico de 7 mm, retirando la cáscara de la zona ecuatorial del fruto y midiendo la fuerza necesaria para penetrar la pulpa. Los valores se reportan en Newtons (N).

4.2.5 Color en exocarpio y mesocarpio.

Se usó un colorímetro de reflexión Hunter Lab, Reston Virginia modelo D25, con el sistema CIELab, para determinar los valores triestímulo en el espacio L*, a* y b*. Dichos valores se usaron para calcular el índice de color (-10ab/L) propuesto por Zarazúa-Escobar *et al.* (2005); así como la luminosidad (*L Hunter*), índice de saturación (ecuación 3) y ángulo de tono (ecuación 4). Este último se calculó de acuerdo con Arias *et al.* (2000) por lo que cuando $a > 0$ y $b \geq 0$, el valor de hue° se determina en base a la ecuación 5 y, cuando el valor $a < 0$ se emplea la ecuación 6; los resultados de esta variable se expresaron en grados sexagesimales.

$$\text{Chroma} = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad (\text{ecuación 3})$$

$$\text{hue}^\circ = \tan^{-1} (b/a) \quad (\text{ecuación 4})$$

$$\text{hue}^\circ = 180 + \tan^{-1} (b/a) \quad (\text{ecuación 5})$$

$$\text{hue}^\circ = \tan^{-1} (b/a) \quad (\text{ecuación 6})$$

4.2.6 Cuantificación de pigmentos

4.2.6.1 Extracción y cuantificación de clorofila en el exocarpio y mesocarpio.

Para la extracción de clorofila se tomó una muestra de 0.5 g del tejido, la cual se picó finamente y se transfirió a un vial de 20 mL, después se adicionó 10 mL de acetona al 80%. Se tapó y se dejó en reposo por 48 h en refrigeración y oscuridad. Luego, se filtró y aforó con 20 mL de acetona al 80%. La lectura se realizó a una absorbancia de 645 y 663 nm en un espectrofotómetro (GNESYS 10V Thermo Electron Corporation). Se utilizó acetona al

80% como blanco. De acuerdo con el método de la AOAC (1990), para la cuantificación de clorofila se aplicaron las ecuaciones 7, 8 y 9.

$$\text{Clorofila total (mg L}^{-1}\text{)} = 8.2(A_{663}) + 20.2(A_{645}) \quad (\text{ecuación 7})$$

$$\text{Clorofila } a \text{ (mg L}^{-1}\text{)} = 12.7(A_{663}) - 2.59(A_{645}) \quad (\text{ecuación 8})$$

$$\text{Clorofila } b \text{ (mg L}^{-1}\text{)} = 22.9(A_{645}) - 4.68(A_{663}) \quad (\text{ecuación 9})$$

Para calcular la cantidad de clorofila en la muestra se empleó la ecuación 10:

$$\text{Concentración (mg 100g}^{-1}\text{ de pulpa fresca)} = C \times V \times 100 / 1000 \times P \quad (\text{ecuación 10})$$

Dónde,

C = Concentración (mg L⁻¹)

V = Volumen aforado (mL)

P = Peso de la muestra (g)

1000= Factor de conversión de mg L⁻¹ a mg mL⁻¹

4.2.6.2 Extracción y cuantificación de carotenos totales en el mesocarpio.

De acuerdo con el método descrito por la AOAC (1990) para la extracción y cuantificación, se pesó 10 g de pulpa finamente picada y se colocó en un vial de 25 mL, al cual se le adicionaron 10 mL de acetona pura y se dejó reposar por 48 h a 4° C y en oscuridad. Posteriormente, se trituró en mortero y se lavó con acetona (2 veces) para obtener una solución acetona-carotenoides la cual, se transfirió en un embudo de separación. Después, se agregó 20 mL de éter de petróleo y 100 mL de agua, se dejó reposar por 10 min. De las 2 fases formadas, se desechó la capa inferior y se repitió la operación por dos

veces más, para obtener la mezcla éter de petróleo-carotenos. A esta última, se le adicionó 10 mL de NaOH al 40%, lavando posteriormente 3 veces con agua destilada para eliminar el hidróxido de sodio. Enseguida, se lavó con 10 mL de sulfato de sodio (Na_2SO_4). El contenido se aforó con éter de petróleo hasta un volumen conocido y se hizo la lectura en espectrofotómetro (GNESYS 10V Thermo Electron Corporation) a 454 nm. Los datos se expresaron como concentración de carotenos totales ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ de pulpa fresca) con el empleo de una curva de calibración (Anexo 2).

4.2.7 Cuantificación del contenido de etanol y acetaldehídos.

Para la cuantificación de etanol y acetaldehídos se empleó la metodología descrita por Davis y Chase (1969). Previamente, se prepararon estándares en viales de 20 mL con 5 mL de solución con una concentración conocida de acetaldehído ($1.57 \text{ mg acetaldehído } 100^{-1} \text{ mL}$) y etanol ($118.4 \text{ mg etanol } 100^{-1} \text{ mL}$), ambas se conservaron en congelación hasta su uso. Por otro lado, se tomaron 5 g de pulpa y se colocaron en viales de 20 mL se sellaron inmediatamente y se congelaron. Para la determinación, las muestras se descongelaron e inmediatamente, se incubaron en baño maría a $33 \text{ }^\circ\text{C}$ por 10 min. Transcurrido el tiempo, se tomó 1 mL del espacio de cabeza (gas) y se analizó en un cromatógrafo de gases Clarus 400 con un detector (A) de ionización de flama (FID) y un detector (B) de conductividad térmica (TCD). Las condiciones de lectura se realizaron bajo las siguientes temperaturas: columna = $150 \text{ }^\circ\text{C}$, FID = $180 \text{ }^\circ\text{C}$ y TCD = $180 \text{ }^\circ\text{C}$. El tiempo de retención promedio para acetaldehído fue de 2.57 min y de etanol etanol 3.38 min. Las concentraciones de las muestras se expresaron como mg de etanol o acetaldehído 100 g^{-1} de pulpa.

4.2.8 Determinación de azúcares totales y reductores.

4.2.8.1 Extracción alcohólica de azúcares.

Para la extracción alcohólica de azúcares, se pesó 1 g de pulpa, se trituró y colocó en vaso de precipitado (PYREX), luego se adicionaron 60 mL de alcohol al 80%. Inmediatamente, la solución se llevó a temperatura de ebullición y se mantuvo por 10 min. La muestra se filtró y se tomó un volumen de 20 mL, conocida como solución madre, después se refrigeró hasta su uso (Witham, 1971).

4.2.8.2 Cuantificación de azúcares totales por el método antrona.

De acuerdo al método de Witham (1971) para la cuantificación de azúcares totales, se tomó 1 mL de la solución madre y se llevó a sequedad en baño maría a 55 °C durante 10 min, luego se rehidrató con 15 mL de agua destilada. Posteriormente, en un baño con hielo se colocó un tubo de ensayo de fondo plano (PYREX) y se le agregó 1 mL de la solución, 3 mL de agua destilada y 6 mL de antrona. Posteriormente, los tubos se colocaron en un baño maría y se llevaron a ebullición por 3 min. Transcurrido este tiempo, se sumergieron en agua fría para después leer su absorbancia a 600 nm en un espectrofotómetro Spectronic 20. Se utilizó una curva de calibración (Anexo 3). Los resultados se expresaron como mg de glucosa 100 g⁻¹.

4.2.8.3 Cuantificación de azúcares reductores por el método Nelson-Somogyi.

La concentración de azúcares reductores se llevó a cabo por el método de Nelson (1944) y Somogyi (1952). Se tomó 1 mL de la solución madre y se llevó a sequedad en baño maría a 55 °C durante 10 min. En seguida, se rehidrató con 5 mL de agua destilada y se tomó 1 mL de esta solución, la cual, se colocó en un tubo de ensayo (PYREX) y se adicionó 1 mL del

reactivo Nelson-Somogyi y se agitó y después, el tubo se cubrió con papel aluminio y se colocó en baño maría para llevarlo a ebullición por 10 min. Una vez transcurrido el tiempo, la muestra se enfrió con hielo y se agregó 1 mL del reactivo arseniomolibdato, agitándose con vortex GENIE k-550-0. Luego, se agregó 7 mL de agua destilada y se agitó nuevamente. Las lecturas se realizaron en un espectrofotómetro (Spectronic 20) a 540 nm. Se utilizó una curva de calibración (Anexo 4) y los resultados se expresaron como mg de glucosa 100g^{-1} .

4.2.9 Determinación del contenido de fenoles totales.

4.2.9.1 Extracción de fenoles totales.

Para la extracción de fenoles totales, se pesó 0.25 g de pulpa del fruto, en un microtubo para centrifuga, después se le agregó 0.5 mL de metanol al 80 % (gota a gota) y se mezclaron con ayuda de una espátula hasta lograr un macerado homogéneo. Se centrifugó a 5000 rpm durante 15 min. Luego, se recuperó el sobre nadante en un tubo de ensayo. Al microtubo se le agregó 0.5 mL de metanol al 100 %, se centrifugó bajo las mismas condiciones anteriores, y nuevamente se recuperó el sobrenadante (1 mL de muestra total) (Waterman y Mole, 1994).

4.2.9.2 Cuantificación del contenido de fenoles totales

Se cuantificó el contenido de fenoles totales según el método propuesto por Waterman y Mole (1994), a una alícuota de 200 μL de la muestra se le agregó, en el siguiente orden, 2.5 mL de agua destilada, 100 μL del reactivo Folin Ciocalteu [1:1] y 200 μL de Na_2CO_3 al 20 %. Se dejó reposar bajo condiciones de oscuridad por 30 min, posteriormente se realizó la lectura a 765 nm en un espectrofotómetro digital (GENESYS 10V Thermo Electron

Corporation). Con el uso de una curva de calibración se obtuvieron los resultados (Anexo 5), los cuales se reportaron como mg de ácido gálico 100 g⁻¹ (mg de AG 100 g⁻¹).

4.3 Diseño experimental y análisis estadístico.

El patrón de maduración se analizó (días requeridos para alcanzar la madurez de consumo) a través de una media ponderada. Tanto en los frutos almacenados al ambiente (20±2 °C) como en los almacenados en refrigeración (5±1 °C), se realizó una comparación de medias a través del tiempo, usando un diseño experimental completamente al azar con estructura unifactorial de los tratamientos, donde el factor fue la variedad: ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’; con el cual se obtuvo el análisis de las varianzas. El comportamiento de clorofila y carotenos en los frutos madurados a temperatura ambiente (20±2 °C), se analizaron mediante un diseño experimental completamente al azar.

Para comparar, entre tratamientos, la calidad de los frutos de aguacate a la salida de refrigeración y en estado de madurez de consumo (final), se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2x4, los factores, en este caso, fueron variedad (‘Carmen Hass’ y ‘Hass’) y tiempo de almacenamiento (sin refrigeración, 2, 4 y 6 semanas) a 5±1 °C; Luego, para todos los diseños, se realizó una comparación de medias empleando la prueba de Tukey, con un nivel de confiabilidad del 95 % (Correa, 2004). Se usó el paquete estadístico SAS System for Windows 9.0 (SAS, 2002) y se realizaron tres repeticiones para las variables y cada fruto se consideró una unidad experimental.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

5.1 Almacenamiento al ambiente.

5.1.1 Patrón de maduración.

El patrón de maduración de los frutos de los cultivares Carmen Hass y Hass madurados directamente al ambiente (20 ± 2 °C), mostró que los frutos del cv. Hass alcanzaron la madurez de consumo en 11.4 días, en tanto que los del cv. Carmen Hass, requirieron de 10.5 días. Respecto a la producción de etileno, ambos cultivares iniciaron su autocatálisis al quinto día después de la cosecha, y la máxima producción se presentó a los 11 días en ‘Hass’ y 9 días en ‘Carmen Hass’, siendo significativamente mayor ($p < 0.05$, Anexo 6) en el primero ($229.86 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) respecto al segundo ($138.26 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) (Figura 3). Esta respuesta pone de manifiesto diferencias en la producción de etileno entre ambos cultivares, lo que resulta importante para compatibilidad de productos con fines de almacenamiento y transporte (Kader, 2002). En estudios realizados en el cv. Hass se ha reportado (Burg, 2004) que la concentración de etileno requerida para iniciar el proceso de maduración se sitúa en $0.1 \mu\text{L L}^{-1}$, variando la máxima producción desde $100 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ a 20°C (Woolf *et al.*, 2004) hasta $280 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ a 15°C (Villa-Rodríguez *et al.*, 2010), lo que indica que, no obstante el efecto de los diversos factores de carácter agronómico y ambiental en la respuesta fisiológica de los frutos de aguacate, los valores de etileno obtenidos indican un comportamiento normal de la maduración, incluso en ambos cultivares.

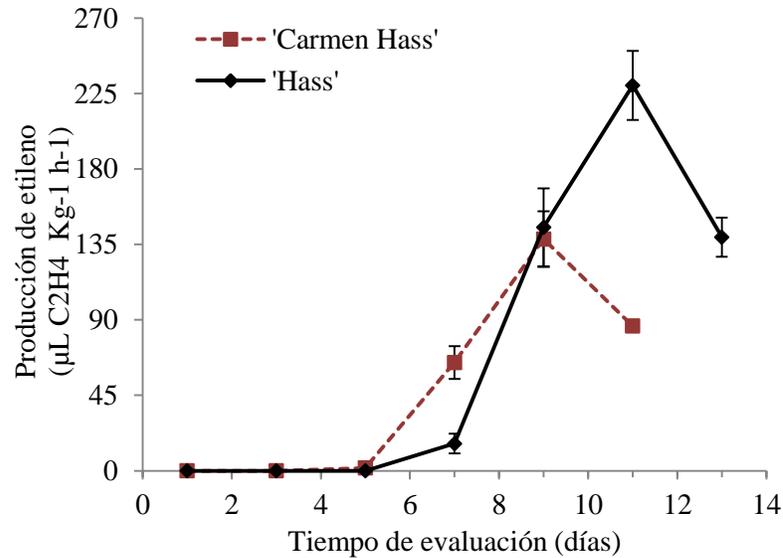


Figura 3. Comportamiento de la producción de etileno, durante el proceso de maduración, en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente a 20 ± 2 °C. Medias \pm desviación estándar para $n=3$.

5.1.2 Pérdida de peso.

En la Figura 4 se muestra la pérdida de peso de los frutos ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ durante la maduración, la cual se incrementó conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento, alcanzando un 8.61 % en ‘Carmen Hass’ y un 10.42 % en ‘Hass’ sin mostrar diferencias significativas entre ambos cultivares ($p>0.05$, Figura 4, Anexo 6). La pérdida de agua de los frutos es considerada la causa principal de deterioro y se incrementan como consecuencia de la transpiración después de la cosecha; además, no solo se relaciona con disminución de peso, también con la textura y la calidad nutricional (Jiménez-Cuesta *et al.*, 1983; Kader, 2002; Saucedo-Hernández *et al.*, 2005).

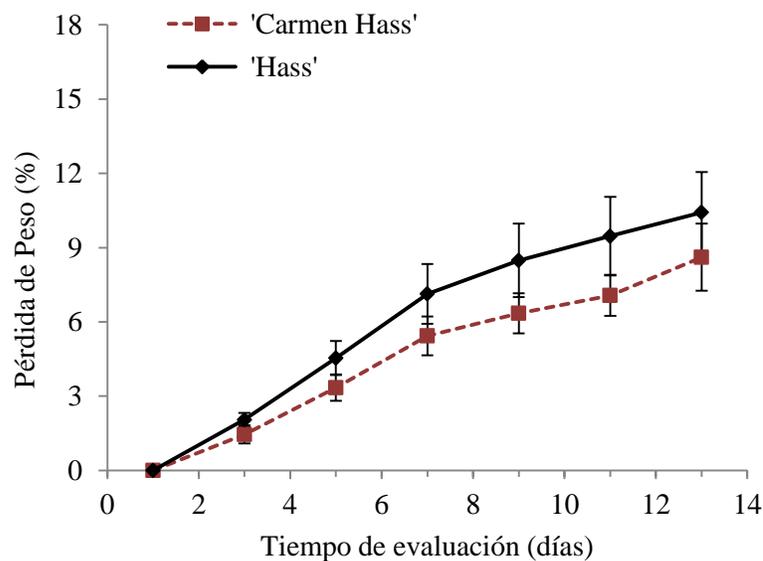


Figura 4. Comportamiento de la pérdida de peso, durante el proceso de maduración, en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente a 20 ± 2 °C. Medias \pm desviación estándar para $n=3$.

5.1.3 Firmeza.

Los frutos de ambos cultivares se cosecharon con un contenido de materia seca de 24.33% para ‘Carmen Hass’ y 24.0% para ‘Hass’, lo que correspondió a una firmeza de 46.64 y 42.96 N, respectivamente, sin diferencias significativas entre ambos valores ($p>0.05$, Figura 5, Anexo 6). Después de 11 días de maduración a 20 ± 2 °C, los frutos disminuyeron su firmeza hasta 7.59 en ‘Carmen Hass’ y 7.16 N en ‘Hass’ y, de acuerdo con los días requeridos para alcanzar una textura suave al tacto (10.5 días para ‘Carmen Hass’ y 11.4 para ‘Hass’) estos últimos valores de firmeza pueden definir la madurez de consumo de ambos cultivares. Valores de firmeza de la pulpa similares en la madurez de consumo han sido reportados por Flitsanov *et al.* (2000) quienes, en frutos de aguacate ‘Hass’ almacenados a 20 °C determinaron una firmeza de 12.1 N a los 7 días después de cosecha.

Villa-Rodríguez *et al.* (2010) reportaron una disminución de la firmeza durante la maduración de aguacate ‘Hass’ de 54.62 N en la fase pre climatérica hasta 19.92 N en el máximo climatérico, y 7.37 N en la fase pos climatérica durante 14 días de almacenamiento a 15°C. Durante la maduración, la firmeza disminuye debido a alteraciones en la pared celular, compuesta por sustancias pécticas y celulosa principalmente, las cuales, son degradadas por incremento de la actividad de las enzimas polimetilesterasa, poligalacturonasa y celulasas, provocando ablandamiento en los frutos (Zauberman y Schiffmann-Nadel, 1972; Arévalo- Galarza *et al.* 2002).

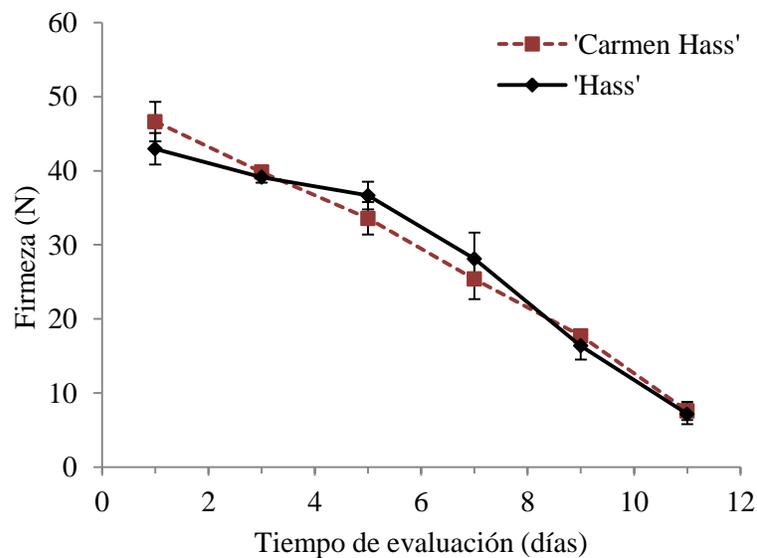


Figura 5. Comportamiento de la pérdida de firmeza, durante el proceso de maduración, en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente a 20 ± 2 °C. Medias \pm desviación estándar para $n=3$.

5.1.4 Cambios de color en el exocarpio (cáscara).

Los cambios en el color externo revelaron que en ambos cultivares el índice de color (IC) experimentó una disminución significativa ($p > 0.05$, Anexo 7) durante la maduración. En el cultivar ‘Carmen Hass’ disminuyó de 37.06 al momento de cosecha hasta 2.17 en madurez de consumo y, en el cultivar ‘Hass’ disminuyó de 42.81 a 6.24, en los mismos estados fisiológicos (Figura 6-A). Estos resultados coinciden con los reportados por López-López y Cajuste-Bontemps (1999) quienes obtuvieron una disminución del índice de color en la cáscara de frutos de aguacate ‘Hass’ de $IC=50$ a $IC=0$; así como con los mencionados por Domínguez (2014) quien indicó una reducción en esta variable en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’, madurados a $20^{\circ}C$, de $IC=20.5$ a $IC=0.5$ durante la maduración. Es de señalar que a diferencia de los resultados obtenidos en el presente estudio, en estos reportes no se relacionó el valor del IC con estados fisiológicos inherentes al proceso de maduración.

El cultivar Hass mostró diferencias significativas ($p < 0.05$, Anexo 7) con relación a los cambios en color, evaluados por las variables Lab- Hunter, durante el proceso de maduración. Al respecto, en el cv. Carmen Hass se incrementó el ángulo de tono ($^{\circ}hue$) desde 140.59° a 216.54° , en tanto que en el cv Hass cambió de 142.34° a 166.68° , con diferencias estadísticas ($p < 0.05$, Anexo 7) en los valores al momento de la madurez de consumo y en el comportamiento durante la maduración, siendo mayor en ‘Carmen Hass’ (Figura 6-D). En cuanto a la luminosidad (L), los valores disminuyeron de 27.22 a 24.28 en ‘Carmen Hass’ y de 30.38 a 24.95 en ‘Hass’, existiendo diferencias significativas ($p < 0.05$, Anexo 6) sólo en el comportamiento de esta variable durante la maduración con tendencia a ser mayor en el cultivar Hass (Figura 6-B). En lo que se refiere al índice de saturación

(Croma), este varió de 14.35 a 3.40 en el cv. Carmen Hass' y de 16.42 a 8.78 en 'Hass, observándose diferencias estadísticas ($p < 0.05$, Anexo 7) en la madurez de consumo y en el perfil durante la maduración, con tendencia a ser mayor en 'Hass' (Figura 6-C). En frutos de aguacate 'Carmen Hass' madurados a 20°C, Domínguez (2014) reportó un incremento del ángulo hue de 130.8° a 172.9° una vez alcanzada la madurez de consumo; así como una disminución en luminosidad (de 25.9 a 22.6) e índice de saturación (10.1 a 1.8), mientras que Ashton *et al.* (2006) reportaron para aguacate 'Hass' madurado a 20°C un aumento en el ángulo hue de 125° a 250° y una disminución en luminosidad (de 40 a 27) e índice de saturación (de 15 a 3), todo lo cual revela que el color de los frutos de aguacate varía con el cultivar, época de cosecha y zona de producción, tal como ha sido reportado por varios autores (López-López y Cajuste-Bontemps, 1999; Arpaia, 1994; Fischer, 2002).

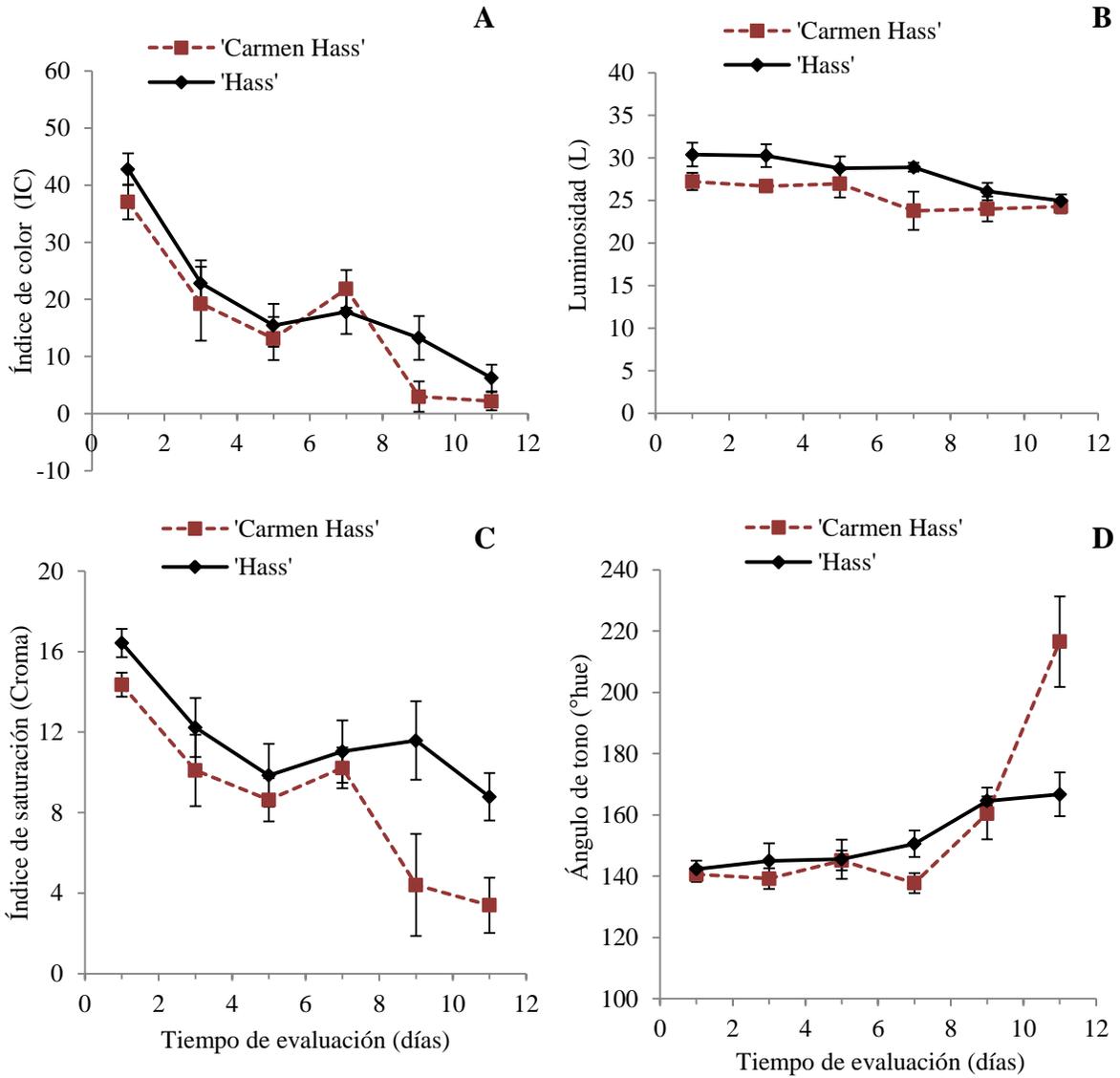


Figura 6. Comportamiento de los componentes del color en exocarpio (cáscara) durante el proceso de maduración, en frutos de aguacate 'Carmen Hass' y 'Hass' almacenados al ambiente a 20 ± 2 °C. Medias \pm desviación estándar para $n=3$.

5.1.5 Cambios de color en el mesocarpio (pulpa).

Respecto al cambio de color en la pulpa, se observó una disminución en la luminosidad de 77.91 a 75.50 en ‘Carmen Hass’ y de 80.93 a 79.58 en ‘Hass’, presentándose diferencias significativas ($p < 0.05$, Anexo 7) en el perfil de esta variable durante la maduración, con tendencia a ser mayor en ‘Hass’ (Figura 7-A). El ángulo de tono disminuyó de 112.60° a 104.93° en ‘Carmen Hass’ y de 108.28 a 105.04 en ‘Hass’, también con diferencias significativas ($p < 0.05$, Anexo 7) en el perfil obtenido durante la maduración, con tendencia a ser mayor en ‘Carmen Hass’ (Figura 7-C). Por su parte, el índice de saturación de ‘Carmen Hass’ disminuyó de 34.38 a 32.02 y de 33.98 a 31.67 en ‘Hass’, sin diferencias significativas ($p < 0.05$, Anexo 7) (Figura 7-B). Ashton *et al.* (2006) reportaron para frutos de aguacate ‘Hass’ madurados a 20 °C, una disminución en el croma, de 43 a 35 y en la luminosidad, de 74 a 64; respecto al ángulo de tono, encontraron valores de 113° en pulpa verde oscuro, 105° en pulpa verde pálido y en pulpa amarilla de 101°. Todo lo cual sugiere que durante la maduración los cambios en color de la pulpa es similar en ambos cultivares.

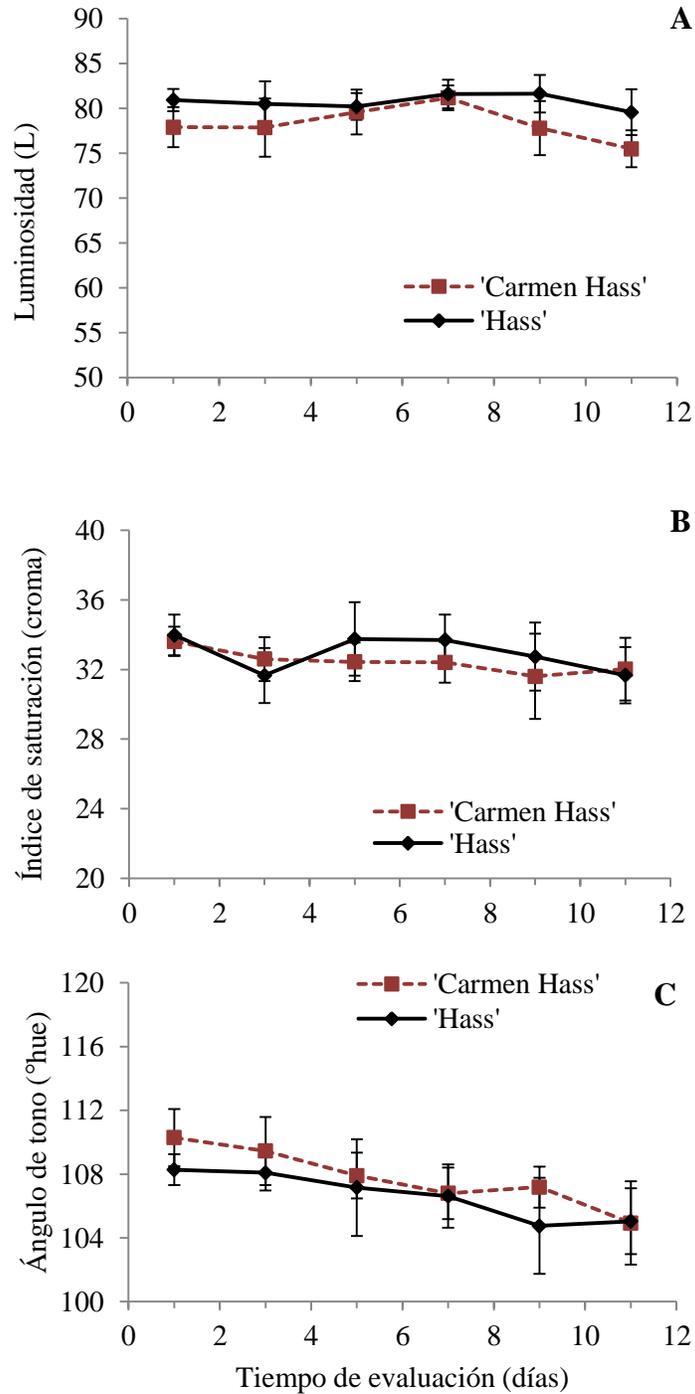


Figura 7. Cambio de color en el mesocarpio (pulpa) durante el proceso de maduración, en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente a 20 ± 2 °C. Medias \pm desviación estándar para $n=3$.

5.1.6 Concentración de clorofila en el exocarpio.

Respecto a la concentración de clorofila en el exocarpio, en el cultivar ‘Carmen Hass’ la clorofila total disminuyó de 62.58 mg 100g⁻¹ (clorofila *a*=40.47 mg 100g⁻¹ y clorofila *b*=21.66 mg 100g⁻¹) a 51.89 mg 100g⁻¹ (clorofila *a*=37.35 mg 100g⁻¹ y clorofila *b*=14.10 mg 100g⁻¹) durante el proceso de maduración; lo mismo ocurrió en el cv. Hass que se redujo de 67.19 mg 100g⁻¹ (clorofila *a*=42.31 mg 100g⁻¹ y clorofila *b*=24.42 mg 100g⁻¹) a 55.41 mg 100g⁻¹ (clorofila *a*=35.80 mg 100g⁻¹ y clorofila *b*=19.21mg 100g⁻¹); sin embargo, aunque no presentaron diferencias significativas ($p>0.05$), entre ambos cultivares, la concentración de la clorofila en los frutos ‘Hass’, tanto en estado de madurez fisiológica como de consumo, resultaron mayores en cuanto a ‘Carmen Hass’ (Cuadro 2). El contenido de clorofila disminuye debido a su degradación, durante la maduración, derivado de la actividad de la enzima clorofilasa (Will *et al.*, 1998; Díaz, 2002). En cáscara del cv. Hass, en estado de madurez de consumo, se han reportado concentraciones de 2.88 mg 100g⁻¹ para clorofila total, en clorofila *a* de 1.92 mg 100g⁻¹ y de 0.95 mg 100g⁻¹ en clorofila *b* (Wang *et al.*, 2010), por lo que las concentraciones encontradas en la presente investigación resultaron ser de mayor magnitud y, comparativamente, también disminuyen durante la maduración.

Cuadro 2. Concentración de clorofila en exocarpio (cáscara) de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente a 20±2 °C.

Variedad	Clorofila <i>a</i> (mg 100g ⁻¹)		Clorofila <i>b</i> (mg 100g ⁻¹)		Clorofila total (mg 100g ⁻¹)	
	Salida	MC	Salida	MC	Salida	MC
‘Carmen Hass’	40.47 a ^Z	37.35 a	21.66 a	14.10 a	62.58 a	51.89 a
‘Hass’	42.31 a	35.80 a	24.42 a	19.21 a	67.19 a	55.41 a

Salida: inicio de evaluación una vez cumplido el tiempo en refrigeración.

MC: madurez comestible.

^Z Los valores con diferente letra dentro de la misma columna son estadísticamente distintos con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$.

5.1.7 Concentración de clorofila y carotenos en el mesocarpio.

La concentración de clorofila total en pulpa de aguacate del cv. Carmen Hass disminuyó de 35.65 mg 100g⁻¹ (clorofila *a*=18.07 mg 100g⁻¹ y clorofila *b*=17.40 mg 100g⁻¹) a 25.60 mg 100g⁻¹ (clorofila *a*=15.83 mg 100g⁻¹ y clorofila *b*=9.60 mg 100g⁻¹), de igual forma en el cv. Hass se minimizó de 35.65 mg 100g⁻¹ (clorofila *a*=18.91 mg 100g⁻¹ y clorofila *b*=20.02 mg 100g⁻¹) a 25.60 mg 100g⁻¹ (clorofila *a*=18.12 mg 100g⁻¹ y clorofila *b*=11.90 mg 100g⁻¹), siendo el cv. Hass el que mostró la mayor concentración de este pigmento y solo mostrando diferencias significativas ($p<0.05$, Cuadro 3) en el contenido de clorofila *b*, en los frutos que alcanzaron la madurez de consumo. Wang *et al.* (2010) reportaron para pulpa de aguacate ‘Hass’ valores de 2.87 mg 100g⁻¹ en clorofila total, para clorofila *a* de 1.48 mg 100g⁻¹ y de 1.38 mg 100g⁻¹ para clorofila *b*, por lo que las concentraciones encontradas en la presente investigación resultaron ser mayores en el mismo orden de magnitud y, además, se encontró que en ambos cultivares disminuyen durante la maduración.

En cuanto a la determinación de carotenoides, los carotenos del cultivar Hass presentaron un incremento durante la maduración, de 0.046 a 0.071 mg 100g⁻¹ al igual que los del cv. Carmen Hass que aumentaron de 0.47 a 0.78 mg 100g⁻¹ sin mostrar diferencias significativas (p>0.05, Cuadro 3). El contenido de carotenoides de las frutas aumenta durante la maduración, si bien parte de la intensificación del color se debe a la pérdida de clorofila (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004). Vasco *et al.* (2008) observó que en la pulpa de frutos de aguacate ‘Hass’ la concentración de clorofila disminuye mientras que la de carotenos se incrementa, siendo estos de importancia debido a que son precursores de la vitamina A.

Cuadro 3. Concentración de clorofila en mesocarpio (pulpa) de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente a 20±2 °C.

Variedad	Clorofila <i>a</i> (mg 100g ⁻¹)		Clorofila <i>b</i> (mg 100g ⁻¹)		Clorofila total (mg 100g ⁻¹)		Carotenos (mg 100g ⁻¹)	
	Salida	MC	Salida	MC	Salida	MC	Salida	MC
‘Carmen Hass’	18.07 a ^Z	15.83 a	17.40 a	9.60 b	35.65 a	25.60 a	0.047 a	0.078 a
‘Hass’	18.91 a	18.12 a	20.02 a	11.90 a	39.11 a	30.22 a	0.046 a	0.071 a

Salida: inicio de evaluación una vez cumplido el tiempo en refrigeración. MC: madurez comestible. ^Z Los valores con diferente letra dentro de la misma columna son estadísticamente distintos con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$.

5.1.8 Concentración de etanol y acetaldehídos

En la Figura 8, se muestran la concentración de etanol y acetaldehídos y su comportamiento a través del tiempo de almacenamiento a temperatura ambiente (20±2 °C) la cual mostró diferencias significativas a través del tiempo (p<0.05, Anexo 6). En este sentido, en los

frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ se encontró una concentración inicial de $7.89 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ de etanol y $4.72 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ de acetaldehído, y ambos metabolitos disminuyeron su concentración hasta el día 7 (acetaldehído) y 9 (etanol), luego aumentaron en el día 11, $70.46 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ de etanol y $9.02 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ de acetaldehídos; cabe mencionar que el día 9, cuando comienza a elevarse la concentración de etanol, coincide con la máxima producción de etileno; en aguacate ‘Hass’, el etanol disminuyó del día 1 ($2.74 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) al día 7, luego incrementó su concentración a $34.71 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ (día 11) y los acetaldehídos tendieron a aumentar, de 5.11 a $8.54 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ (Figura 8-A, B). El etanol y los acetaldehídos son precursores del aroma natural del fruto y se incrementan durante la maduración, lo cual está relacionado con la disminución de piruvato así como un incremento de la actividad de las enzimas piruvato descarboxilasa y alcohol deshidrogenasa (Pesis, 2005).

Arévalo-Galarza *et al.* (2002) mencionan que el contenido de etanol, en frutos de aguacate ‘Hass’ almacenado a 20°C , incrementa la producción de etanol durante el proceso de maduración, de 10.72 a $260.87 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$. Pesis *et al.* (1998) cuantificaron en frutos de aguacate ‘Fuerte’ almacenado a 17°C , el contenido de compuestos volátiles, reportando una disminución para acetaldehídos (de $0.07 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ a $0.003 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) y etanol (de $0.72 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ a $0.16 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$), además de que la máxima producción de etanol coincidió con la máxima producción de etileno.

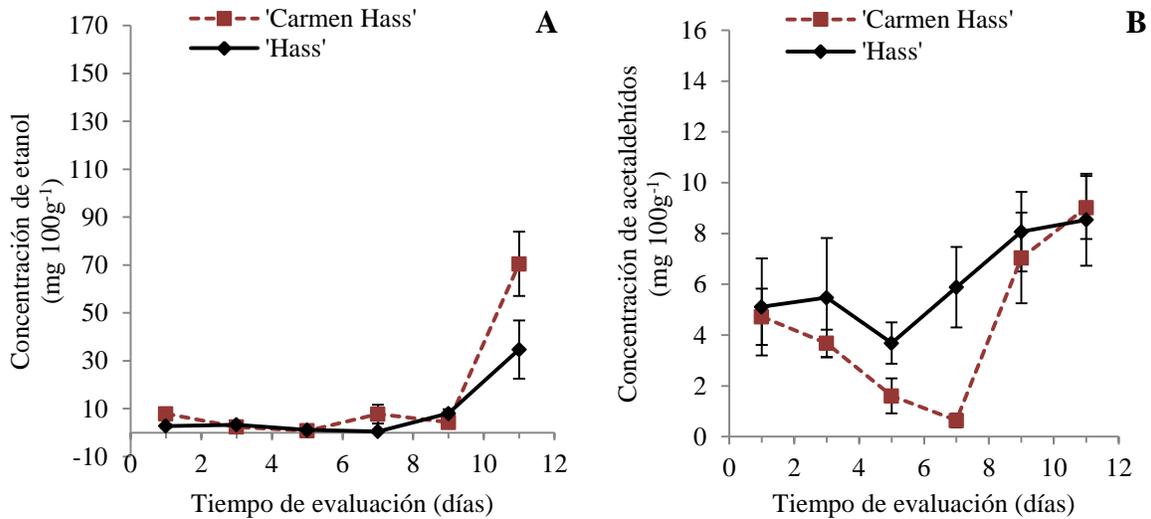


Figura 8. Comportamiento de la concentración de etanol (A) y acetaldehídos (B) en pulpa de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ madurados al ambiente a $20\pm 2^{\circ}\text{C}$. Medias \pm desviación estándar para $n=3$.

5.1.9 Concentración de fenoles totales.

En cuanto al contenido de fenoles totales en pulpa, esta variable disminuyó y presentó diferencias significativas ($p < 0.05$, anexo 6), durante el período de evaluación para los dos cultivares evaluados. En el cultivar Carmen Hass, pasó de 16.78 (día 1) a 26.34 mg AG 100g^{-1} (día 5) luego disminuyó hasta 11.30 mg AG 100g^{-1} en el día 11, y en ‘Hass’ la concentración de fenoles se incrementó de 14.79 hasta 26.52 mg AG 100g^{-1} en el segundo día, posteriormente se redujo, 13.98 mg AG 100g^{-1} (Figura 9). Wang *et al.* (2010) reportaron para aguacate ‘Hass’ una concentración de fenoles totales de 0.49 mg AG 100g^{-1} . Por otro lado, Villa-Rodríguez *et al.* (2011) encontraron que el contenido de fenoles totales en aguacate ‘Hass’, incrementó durante el proceso de maduración (transportado a $5-7^{\circ}\text{C}$, seguido de 3 días a 15°C para su maduración) de 16.60 a 31.88 mg AG 100g^{-1} ; además de que la máxima concentración de fenoles coincidió con el pico de etileno. Por lo que las concentraciones encontradas en la presente investigación resultaron ser del mismo orden de

magnitud y, comparativamente, no se incrementan durante la maduración lo cual se asocia, de acuerdo con Lizada (1993) con la disminución de la astringencia del fruto durante su maduración.

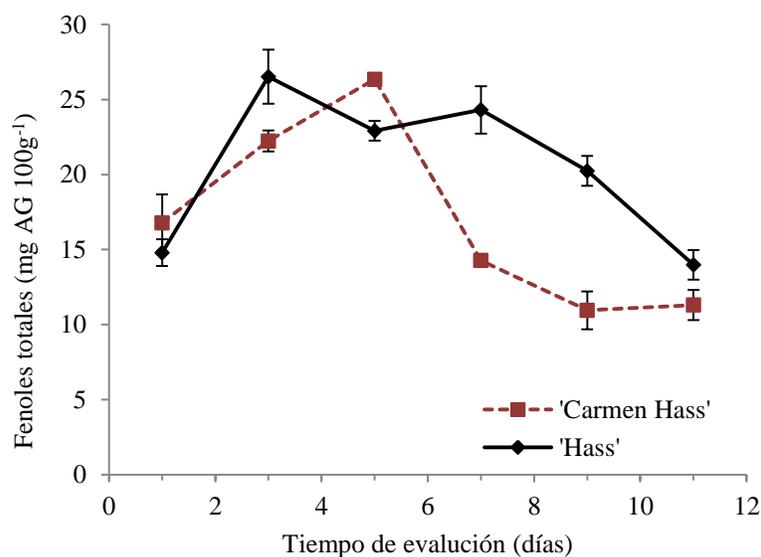


Figura 9. Comportamiento de la concentración de fenoles totales, durante el proceso de maduración, en pulpa de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente a 20 ± 2 °C. Medias \pm desviación estándar para $n=3$.

5.1.10 Concentración de azúcares totales y reductores.

Los azúcares totales de los frutos ‘Carmen Hass’, a temperatura ambiente (20 ± 2 °C), disminuyeron rápidamente del día 1 (42.02 mg glucosa $100g^{-1}$) al día 3 (≈ 23.00 mg glucosa $100g^{-1}$), posteriormente su reducción fue más lenta hasta el día 11 (17.61 mg glucosa $100g^{-1}$), día en que alcanzaron la madurez de consumo. En los frutos ‘Hass’ del mismo tratamiento, se encontró una concentración de azúcares totales inicial de 49.16 mg glucosa $100g^{-1}$ y se observó una rápida disminución de estos, del día 3 al día 5; en estado de madurez de consumo (día 11) se encontró una concentración de 30.11 mg glucosa $100g^{-1}$.

Estos resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$, Anexo 6) el perfil de maduración, siendo mayor el contenido en el cv. Hass, presentándose además diferencias significativas ($p < 0.05$, Anexo 6) al alcanzar los frutos la madurez de consumo (Figura 10-A).

Respecto a los azúcares reductores no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$, Anexo 6) entre los dos cultivares durante el período de evaluación. En este sentido, para ‘Carmen Hass’ se determinó una concentración inicial de 28.78 mg glucosa 100g^{-1} y de 17.18 mg glucosa 100g^{-1} en estado de madurez comestible; en el caso de ‘Hass’, las concentraciones disminuyeron de 26.24 a 18.44 mg glucosa 100g^{-1} durante el proceso de maduración (Figura 10-B). Blakey (2011) reportó en frutos de aguacate ‘Hass’ madurados a 21 °C una máxima concentración de glucosa al día 10, de 1.76 mg g^{-1} (176 mg glucosa 100g^{-1}), muy superior a los valores determinados en el presente trabajo, la diferencia puede repercutir en el sabor de los frutos principalmente debido a un efecto por la zona de producción (Arpaia, 2004).

Durante el proceso de maduración, las concentraciones de los carbohidratos disminuyen porque son los compuestos que, en su mayoría, se requieren para el proceso respiratorio (Mann, 1987). En este sentido, la disminución observada en el presente trabajo (Figura 10) puede ser debida a este hecho. Del mismo modo, en los estudios de Obeland *et al.* (2012) para aguacate ‘Hass’ madurados a 20 °C, las concentraciones de carbohidratos solubles (sacarosa, glucosa y fructosa) fueron menores con respecto a los frutos inmaduros. Por su parte, Burdon *et al.* (2011) determinó que, en la fase de maduración, se presenta una rápida utilización de carbohidratos para la formación de ácidos grasos.

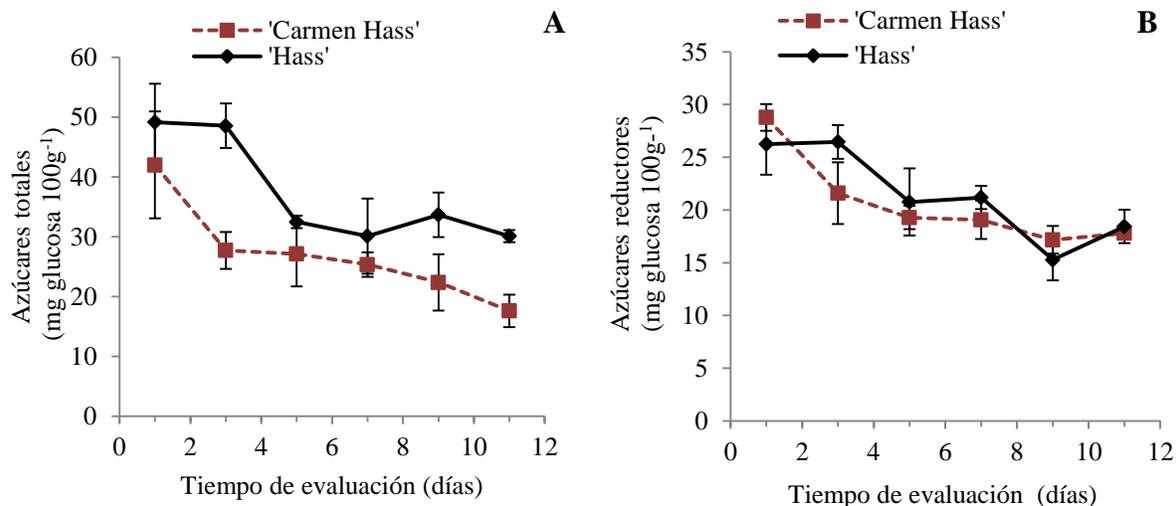


Figura 10. Comportamiento de la concentración de azúcares totales y reductores en pulpa de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ madurados al ambiente a 20 ± 2 °C. Medias \pm desviación estándar para $n=3$.

5.2 Almacenamiento en refrigeración.

5.2.1 Patrón de maduración.

El patrón de maduración de los frutos almacenados a 5 ± 1 °C presentó un comportamiento irregular en ambos cultivares, al obtener una textura suave en mayor tiempo (5.7 días en ‘Carmen Hass’ y 5.8 en ‘Hass’) en los frutos refrigerados por 4 semanas; respecto a los almacenados durante 2 y 6 semanas, con 4.3 y 3.7 días para ‘Carmen Hass’ y, 5.0 y 3.9 días para ‘Hass’, respectivamente (Cuadro 4), lo que sugiere cambios en el metabolismo de los frutos por efecto de la temperatura de refrigeración. Una característica distintiva del aguacate es que los frutos se desarrollan y alcanzan su madurez fisiológica en el árbol, y maduran después de la cosecha. El proceso de maduración toma 5-7 días a temperatura ambiente. Los frutos están maduros cuando ceden a la presión suave (Ozdemir y Topuz,

2004; Wang *et al.*, 2010). En este sentido, y para la presente investigación, el patrón de maduración, vista en una determinación de textura suave, correspondió a 10.5 días en los frutos ‘Carmen Hass’ y 11.4 días en ‘Hass’ almacenados a temperatura ambiente (Cuadro 4). Para los frutos almacenados a 5 ± 1 °C, seguido de un almacenamiento a temperatura ambiente, manifestaron un patrón de maduración menor a los frutos sin refrigeración (Cuadro 4), lo que sugiere cambios en el metabolismo por efecto de la temperatura del almacenamiento a bajas temperaturas. De manera semejante, Wang *et al.* (2010) encontraron que, para aguacate ‘Hass’, el tiempo para alcanzar la madurez de consumo, luego de un período determinado en almacenamiento refrigerado a 4 °C, es inversamente proporcional a la duración del mismo. Así, por ejemplo, los frutos almacenados a la temperatura de refrigeración por dos semanas, los tiempos para alcanzar la madurez de consumo correspondieron a 4.3 y 5.7 días en ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’, respectivamente (Cuadro 4). Si bien, en ambos casos, corresponde a un tiempo menor con respecto a los frutos sin refrigeración, dichos tiempos se ubican dentro del periodo ordinario (5-7 días a temperatura ambiente). En cuanto a los frutos almacenados por 4 y 6 semanas a bajas temperaturas, los patrones de maduración presentaron un comportamiento irregular (Cuadro 4), infiriendo que, para ambos cultivares, el aumento del tiempo de exposición de los frutos a 5 ± 1 °C, no sólo ocasiona cambios en el metabolismo sino que además son susceptibles a daños por frío.

En cuanto a la producción de etileno, los frutos refrigerados por 2 semanas presentaron a la salida un total de $4.41 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ en ‘Carmen Hass’ y $7.26 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ en ‘Hass; en los dos cultivares la concentración de esta fitohormona se elevó en ‘Carmen Hass’ hasta $80.98 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ en y $76.04 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ en ‘Hass’, ambos a los 3 días de maduración, no

observándose diferencias significativas ($p>0.05$, Anexo 8, Cuadro 4) en el perfil de producción de etileno (Figura 11-A).

En los frutos refrigerados por 4 semanas, los frutos de ambos cultivares elevaron su concentración de etileno a partir del quinto día de maduración, alcanzando un máximo en ‘Carmen Hass’ de $157.76 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ y ‘Hass’ de $142.24 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{h}^{-1}$, ambos al séptimo día, no presentando diferencias significativas en el perfil de maduración entre cultivares ($p>0.05$, Anexo 10) (Figura 12-B). El retardo en la elevación de etileno y la mayor producción, respecto a los de dos semanas, sugiere cambios en el metabolismo normal de los frutos por la inducción de daños por frío. Al respecto, diversos investigadores (Eaks, 1983; Wang, 2010; Zeinolabedin *et al.*, 2013) han reportado incrementos anormales de la producción de etileno como respuesta a condiciones de daños por frío en aguacate y otros frutos.

Los frutos que refrigerados durante 6 semanas a $5\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, mostraron una limitada producción de etileno (Figura 11-C), lo que indicó que los frutos avanzaron en su maduración durante el almacenamiento refrigerado, y la producción de etileno al transferir a la temperatura de $20\pm 2^\circ \text{C}$, se debió más a una situación de daño que con fines de maduración ya que la incapacidad para madurar de los frutos es un síntoma de daños por frío, y no solo depende del cultivar también del tipo de tejido y de los factores ambientales, como la temperatura (Wang, 2010).

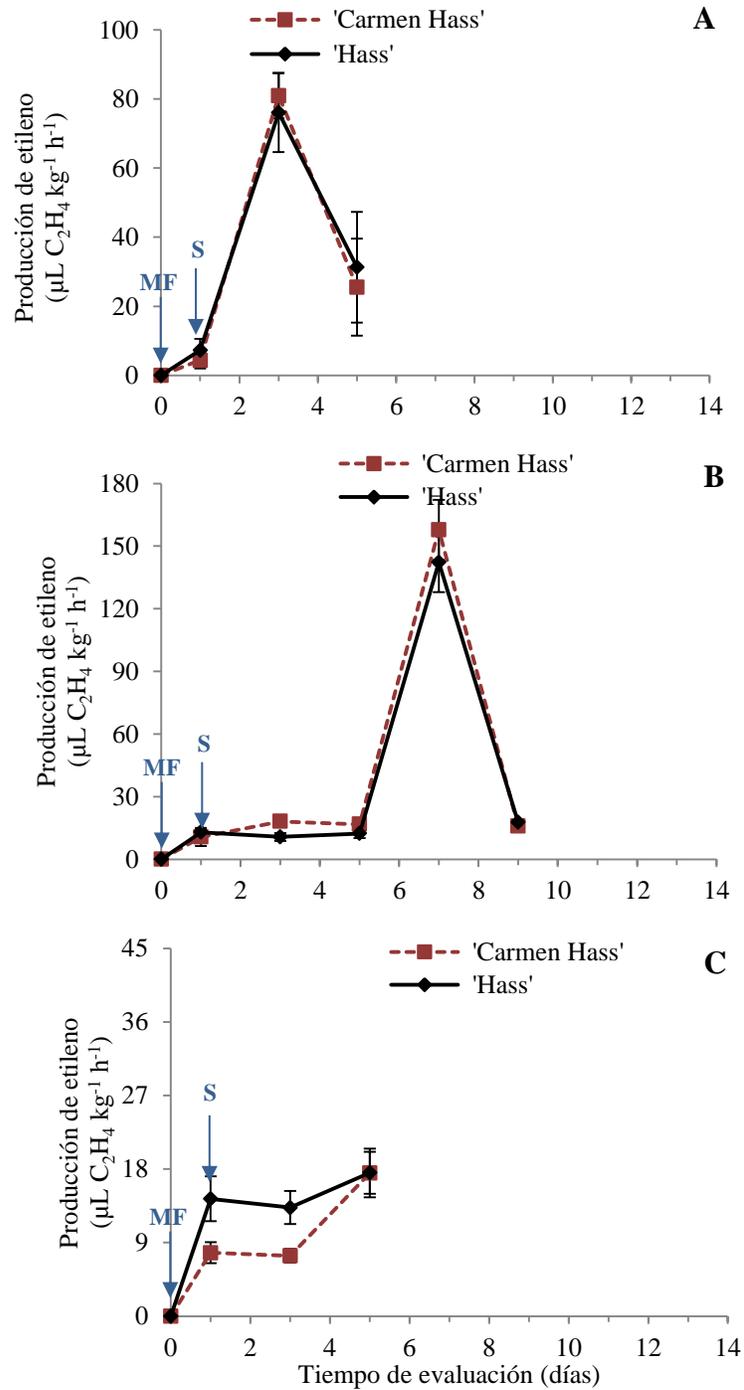


Figura 11. Comportamiento de la producción de etileno, durante el proceso de maduración, en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados por 2 semanas (A), 4 semanas (B) y 6 semanas (C) a 5±1 °C. Medias ± desviación estándar para n=3. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.

Cuadro 4. Patrón de maduración, producción de etileno, pérdida de peso y pérdida de firmeza promedio durante el proceso de maduración en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente (20±2 °C) y por 2, 4 y 6 semanas a 5±1 °C.

Variedad	Tiempo de almacenamiento (semanas)	Patrón de maduración** (días)	Producción de etileno (C ₂ H ₄ kg ⁻¹ h ⁻¹)		Pérdida de peso (%)		Firmeza (N)	
			Salida	MC	Salida	MC	Salida	MC
‘Carmen Hass’	Ambiente*	10.5	ND	138.26 b	0.00 e	8.61 bcd	46.64 a	7.59 a
	2	4.3	4.41 cd ^Z	80.98 c	1.55 de	3.58 e	41.50 ab	4.81 cd
	4	5.7	10.67 abc	157.76 b	3.72 bc	10.49 b	36.13 b	5.62 bcd
	6	3.7	7.75 acb	17.59 d	3.25 bcd	6.79 cde	14.55 c	5.63 bcd
‘Hass’	Ambiente*	11.4	ND	229.86 a	0.00 e	10.42 bc	42.96 ab	7.16 ab
	2	5.0	7.26 bc	76.04 c	2.75 cd	6.59 de	41.04 ab	6.18 abc
	4	5.8	12.95 ab	142.24 b	5.97 a	15.45 a	37.87 b	3.97 d
	6	3.9	14.36 a	17.71 d	4.83 ab	9.8 bcd	17.48 c	6.34 abc

Salida: inicio de evaluación una vez cumplido el tiempo en refrigeración.

ND: no se detectó; MC: madurez comestible.

*Frutos madurados a temperatura ambiente sin refrigeración (13 días).

** Media ponderada

^Z Los valores con diferente letra dentro de la misma columna son estadísticamente distintos con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$.

5.2.2 Pérdida de peso.

En la variable pérdida de peso, se presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$, Cuadro 4). En el caso de los frutos sin refrigeración, se alcanzó una pérdida de peso a la madurez de consumo de 8.61 % en ‘Carmen Hass’ y 10.42 % en ‘Hass’ (Cuadro 4), siendo el cultivar ‘Hass’ el más propenso a una pérdida de peso frente a ‘Carmen Hass’. Con respecto a los frutos refrigerados por 2 semanas a 5 ± 1 °C mostraron una pérdida de peso al llegar a la madurez de consumo de 3.58 % en ‘Carmen Hass’ y 6.59 % en ‘Hass’ estadísticamente diferente ($p < 0.05$, Anexo 8), por lo que la exposición de los frutos a bajas temperaturas por dos semanas fue favorable toda vez que la pérdida de peso fue menor en comparación a los frutos sin refrigeración (Cuadro 4, Figura 12-A).

Por otro lado, como resultado de un almacenamiento prolongado de los frutos a bajas temperaturas se observó una mayor pérdida de peso, desde la salida de los frutos tras una frigoconservación por 4 y 6 semanas y, después, a los 5 días de maduración a 20 ± 2 °C (Figura 12-B y 12-C), y también se observaron diferencias entre cultivares ($p < 0.05$, Anexo 10 y 12). En este sentido, significativamente mayores pérdidas de peso ($p < 0.05$) se presentaron en el cultivar Hass (8.78 %), con relación a ‘Carmen Hass’ (5.79 %) a los cinco días de maduración a 20 ± 2 °C, tras 4 semanas de frigoconservación (Figura 12-B); asimismo después de seis semanas a 5 ± 1 °C y el mismo periodo de maduración, los frutos de aguacate ‘Hass’ alcanzaron significativamente mayores pérdidas de peso respecto ‘Carmen Hass’ con 9.80 y 6.79%, en el mismo orden (Figura 12-C). Estos resultados manifiestan una menor sensibilidad de los frutos del cultivar Carmen Hass a las pérdidas de agua. De acuerdo con Walton y Kolattukudy (1972), en frutos el grosor de la epidermis y el tipo de su superficie (lisa, surcada o rugosa), afectan el intercambio de gases y vapor de

agua de los mismos; en el caso de ‘Carmen Hass’ la epidermis muestra una superficie más rugosa que ‘Hass’, situación que podría estar influyendo en dicha respuesta. Por otro lado, las mayores pérdidas de peso tras 4 y 6 semanas de refrigeración, se relacionan con la incidencia de daños por frío, los cuales de acuerdo con Undurraga *et al.* (2003) inducen a una disminución del grosor y aumento de la lignificación de la pared celular en frutos de aguacate, lo que se traduce en cambios en el transporte de gases y vapor de agua.

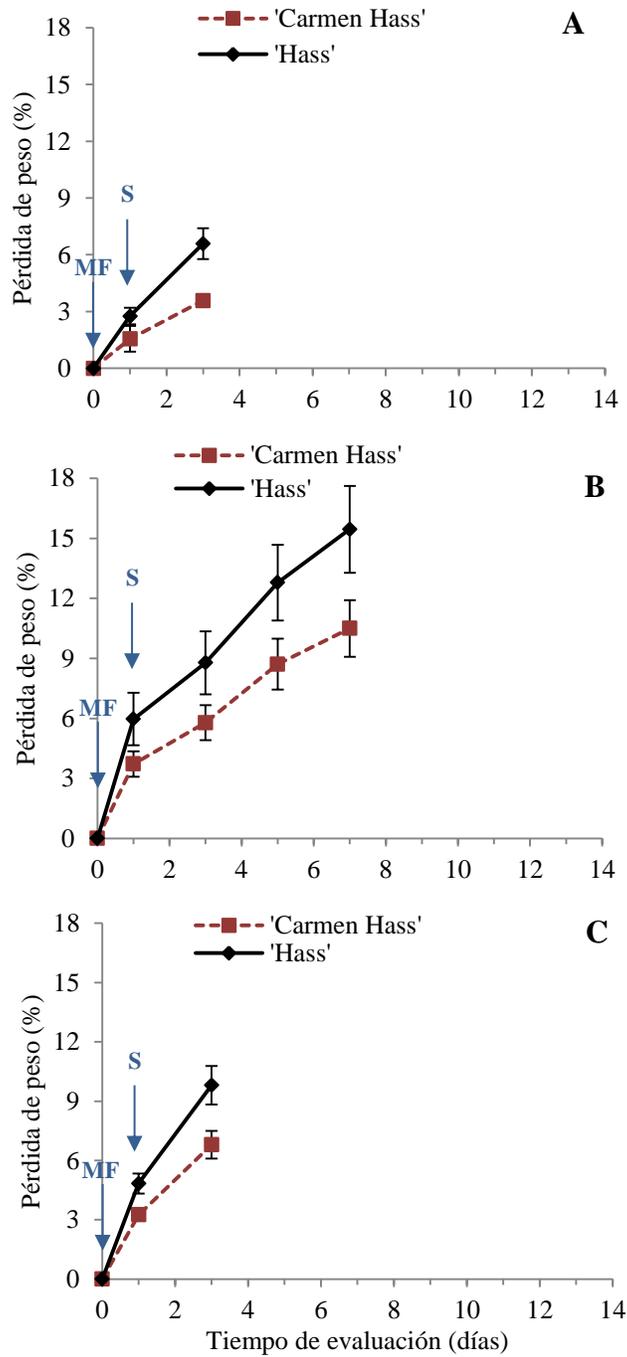


Figura 12. Comportamiento de la pérdida de peso, durante el proceso de maduración, en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente a 20 ± 2 °C. Medias \pm desviación estándar para $n=3$. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.

5.2.3 Firmeza.

Para la variable firmeza se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$, Cuadro 4). Los frutos de ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente (20 ± 2 °C) mostraron el comportamiento normal en cuanto a la disminución de la firmeza, de 46.64 a 7.59 N y 42.96 a 7.16 N respectivamente, cediendo así un ablandamiento esperado hasta que llegó a la madurez de consumo (Cuadro 4). Los frutos almacenados por 2 semanas a 5 ± 1 °C disminuyeron también su firmeza, de 41.50 a 4.81 N en ‘Carmen Hass’ y 41.04 a 6.18 N en ‘Hass’ (Cuadro 4), después de 5 días a la temperatura de maduración (Figura 13-A), siendo estos valores cercanos a los determinados en los frutos sin refrigeración. Los frutos, almacenados por 4 y 6 semanas en frigoconservación, y su inmediata evaluación a la salida de dicho almacenamiento, mostraron una pérdida de firmeza significativa ($p < 0.05$, Cuadro 4), siendo mayor a las 6 semanas con respecto 4 semanas (Figura 13-B y 13-C), lo que sugiere que el tiempo de almacenamiento afecta la en la firmeza cuando éste es prolongado.

Todo lo cual indica que los frutos de ambos cultivares presentan, tras 2 semanas de refrigeración, un periodo de disminución normal de la firmeza de la pulpa durante su maduración, coincidiendo con la evaluación de cambios en la textura al tacto; no así tras 4 semanas donde en ambos cultivares los cambios en firmeza fueron más lentos situándose alrededor de los 6 días, similar al obtenido por la evaluación de la textura al tacto; en el caso de la refrigeración por 6 semanas los frutos de ambos cultivares presentaron alrededor de los dos días de maduración una mayor firmeza, sin que posteriormente ocurrieran cambios en la misma, lo que resulta indicativo de fallas en la maduración. Pesis *et al.*, (1978) mencionan que el incremento en la biosíntesis de etileno está acompañado por una

serie de cambios bioquímicos, incluyendo el incremento en la actividad de las enzimas que producen un ablandamiento del fruto; sin embargo según Eaks (1983) cuando los frutos presentan daños por frío existe una alteración metabólica que provoca un ablandamiento anormal.

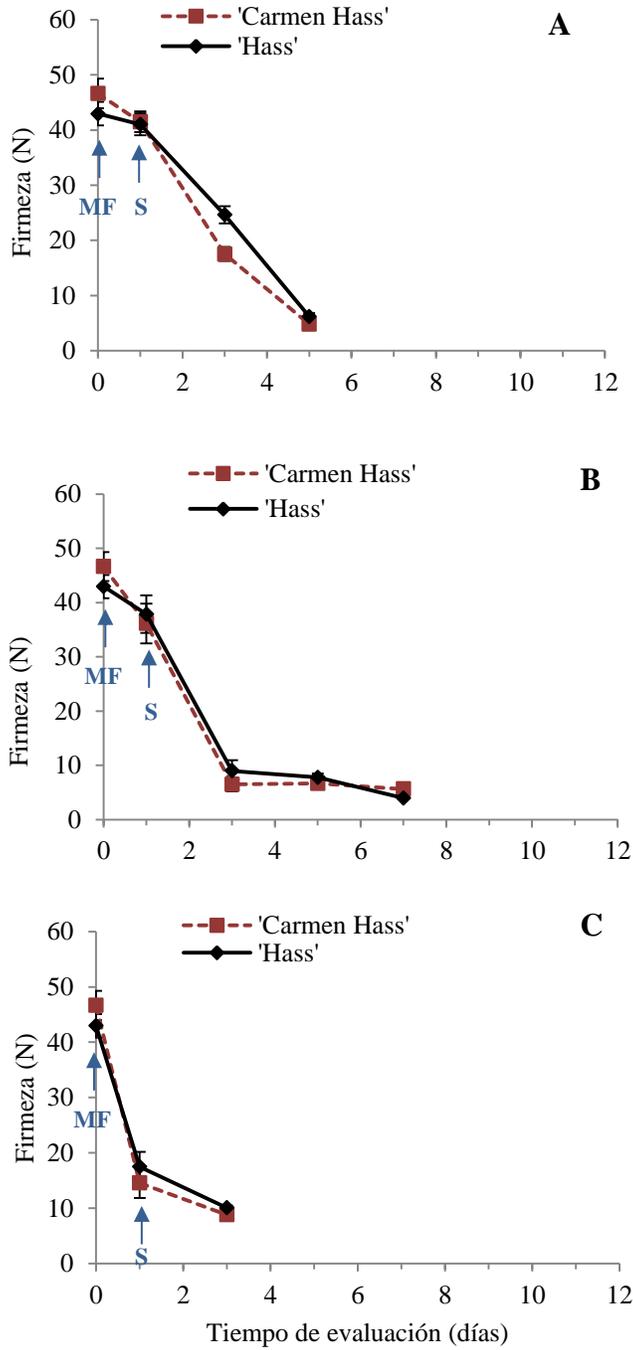


Figura 13. Comportamiento de la pérdida de firmeza, durante el proceso de maduración, en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente a 20 ± 2 °C. Medias \pm desviación estándar para $n=3$. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.

5.2.4 Cambios de color durante la maduración.

5.2.4.1 Exocarpio.

Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para los componentes del color (índice de color, luminosidad, índice de saturación y ángulo de tono) en el exocarpio de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ (Cuadro 5). El índice de color (IC), disminuyó conforme evolucionó la maduración tras cada periodo de refrigeración establecido, observándose diferencias significativas ($p < 0.05$, Anexo 7, 9, 11, 13) entre los dos cultivares (Figura 15-A, B, C). En los frutos almacenados por 2 semanas en refrigeración el índice cambió de $IC=24.42$ a $IC=6.54$ en los frutos ‘Carmen Hass’ y de $IC=36.92$ a $IC=13.65$ para ‘Hass’; asimismo para los frutos de ‘Carmen Hass’, almacenados por 4 semanas a la salida presentaron un $IC=35.18$ y tras la maduración cambió a $IC=0.46$; en ‘Hass’ el IC también disminuyó de $IC=35.18$ a $IC=2.72$ (Cuadro 5). El índice de color de los frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ almacenados durante 6 semanas en refrigeración bajó de $IC=31.60$ a $IC=1.96$ y en ‘Hass’ de $IC=50.84$ a $IC=4.61$ (Cuadro 5). El valor más alto de IC, con diferencias significativas ($p < 0.05$), se presentó tras 2 semanas de refrigeración en ambas variedades (Cuadro 5).

El comportamiento de las variables de color, la luminosidad (L) y el índice de saturación (C) disminuyeron al alcanzar los frutos la madurez de consumo (Figuras 15 y 16), no así el °hue, que se incrementó conforme evolucionó la maduración, principalmente en los frutos de 4 y 6 semanas de refrigeración, donde en los frutos se observaron zonas dispersas de manchado de tejidos en toda la superficie del epicarpio (Figuras 17 y 18). Además, en los perfiles del comportamiento del cambio de color en el exocarpio, se puede notar que

existieron diferencias significativas ($p < 0.05$, Anexo 7, 9, 11, 13) en el índice de color, luminosidad e índice de saturación, en los tres tratamientos establecidos, así como en el ángulo de tono de los frutos de ambos cultivares refrigerados por 6 semanas (Figura 14, 15, 16 y 17).

Cox *et al.* (2004) encontraron que frutos de aguacate ‘Hass’, madurados a 15 °C, no mostraron una coloración totalmente oscura en estado de madurez de consumo, comparado con frutos de la misma variedad madurados a 20 y 25 °C, demostrando que la temperatura de maduración influye en el cambio de color de los frutos de aguacate. De acuerdo con la escala propuesta por McGuire (1992) en la que se establecen los valores del ángulo hue: 0°= rojo-púrpura, 90°= amarillo, 180°= verde azulado y 270°= azul, los frutos de aguacate de ambas cultivares evolucionaron de un color verde brillante a una tonalidad con fondo verde y color de cubrimiento ligeramente púrpura (Figura 17).

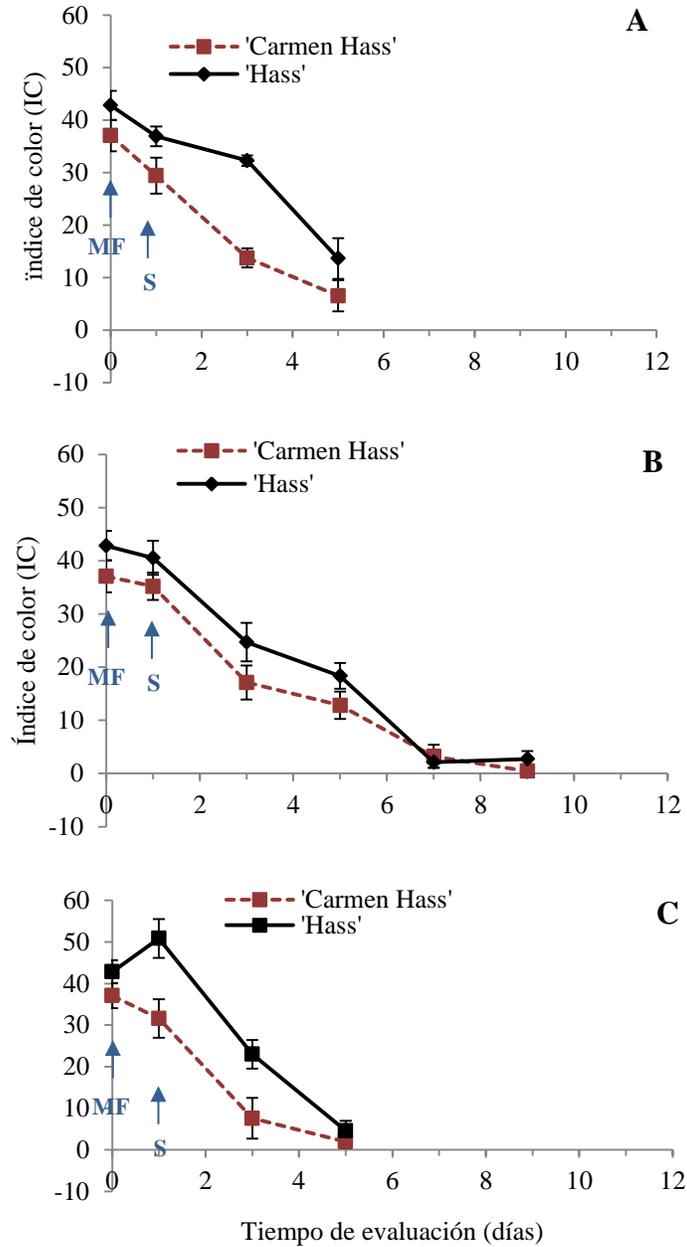


Figura 14. Comportamiento del índice de color, durante el proceso de maduración, en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados por 2 semanas (A), 4 semanas (B) y 6 semanas (C) a 5 ± 1 °C. Medias \pm desviación estándar para $n=3$. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.

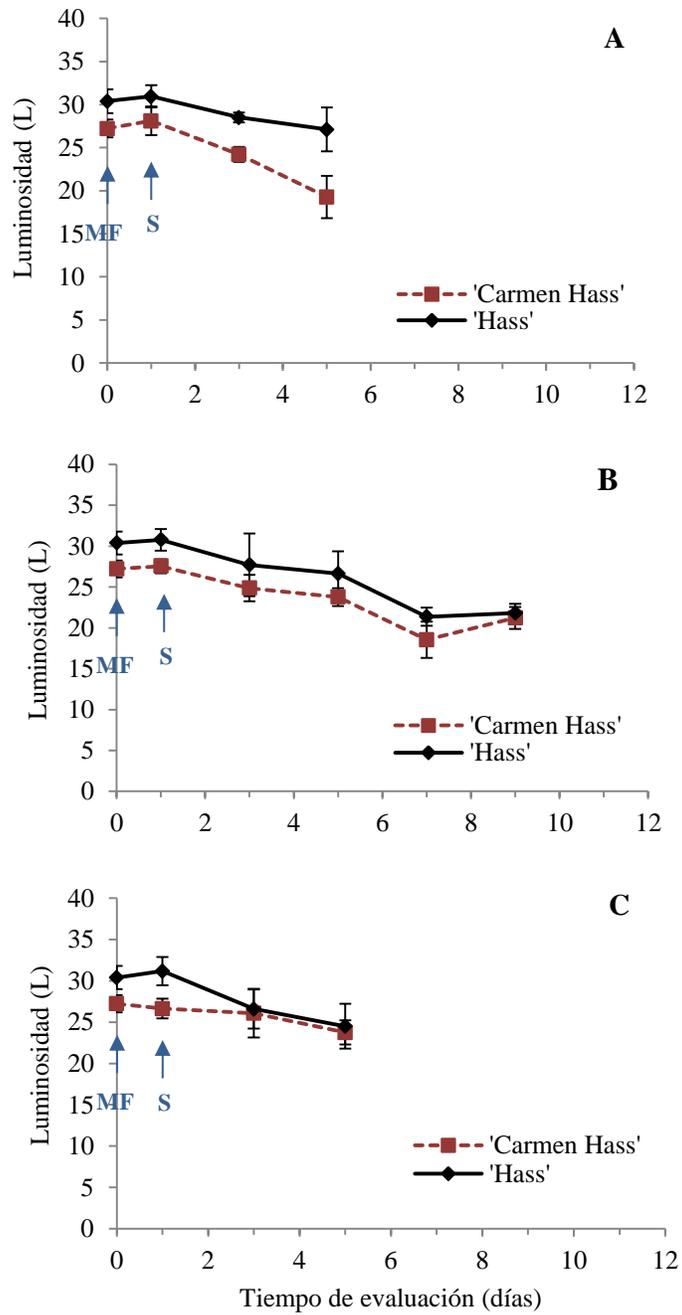


Figura 15. Comportamiento de la luminosidad, durante el proceso de maduración, en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados por 2 semanas (A), 4 semanas (B) y 6 semanas (C) a 5 ± 1 °C. Medias \pm desviación estándar para $n=3$. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.

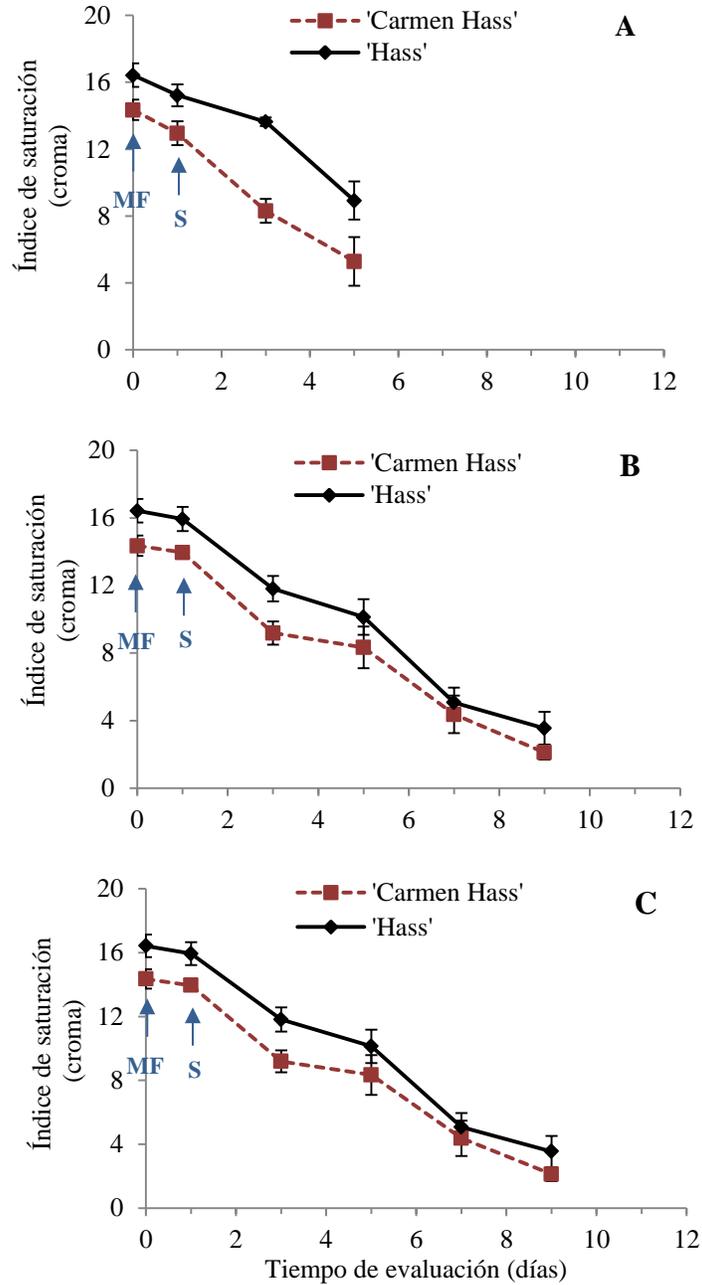


Figura 16. Comportamiento del índice de saturación (croma), durante el proceso de maduración, en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados por 2 semanas (A), 4 semanas (B) y 6 semanas (C) a 5 ± 1 °C. Medias \pm desviación estándar para $n=3$. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.

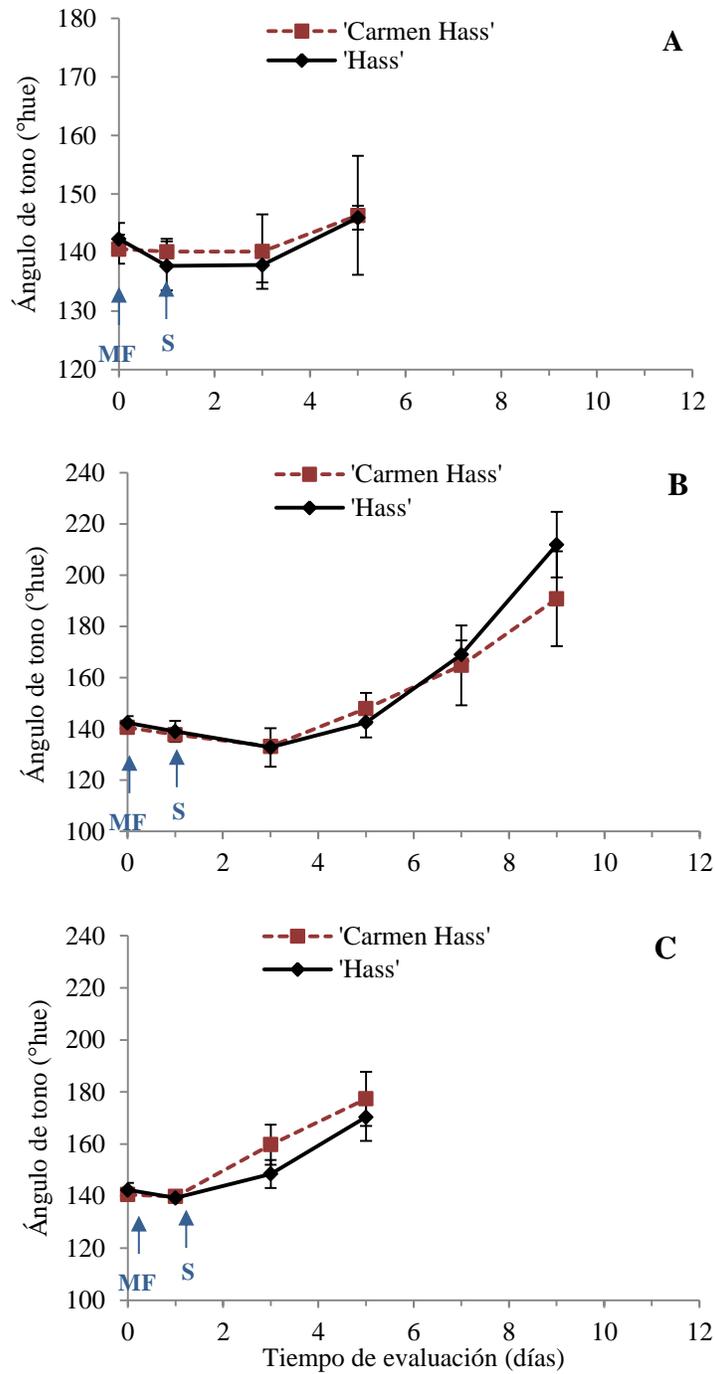


Figura 17. Comportamiento del ángulo de tono, durante el proceso de maduración, en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados por 2 semanas (A), 4 semanas (B) y 6 semanas (C) a 5 ± 1 °C. Medias \pm desviación estándar para $n=3$. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.

Cuadro 5. Cambio de color externo promedio durante el proceso de maduración en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente (20 ± 2 °C) y por 2, 4 y 6 semanas a 5 ± 1 °C.

Variedad	Tiempo de almacenamiento (semanas)	Índice de color		Luminosidad (L)		Índice de saturación (C)		Ángulo de tono (°hue)	
		Salida	MC	Salida	MC	Salida	MC	Salida	MC
‘Carmen Hass’	Ambiente*	37.06 bc ^Z	2.17 cd	27.22 c	24.28 ab	14.35 cd	3.40 cd	140.59 ab	216.54 a
	2	24.42 d	6.54 b	28.10 bc	19.26 c	12.95 e	5.29 c	140.16 ab	146.36 e
	4	35.18 cd	0.46 d	27.55 c	21.21 bc	13.95 cde	2.12 d	137.79 b	190.82 bc
	6	31.60 cd	1.96 d	26.63 c	23.75 ab	13.03 de	4.98 c	139.85 ab	177.36 cd
‘Hass’	Ambiente*	42.81 b	6.24 bc	30.38 ab	24.95 a	16.42 b	8.78 a	142.34 a	166.68 de
	2	36.92 bc	13.65 a	30.95 a	27.10 ab	15.22 bc	8.93 a	137.72 b	145.95 e
	4	35.18 cd	2.72 bcd	27.55 c	21.80 abc	15.94 b	3.54 cd	137.79 b	211.90 ab
	6	50.84 a	4.61 bcd	31.17 a	24.50 ab	17.90 a	7.79 b	139.32 ab	170.31 cd

Salida: inicio de evaluación una vez cumplido el tiempo en refrigeración.

MC: madurez comestible.

*Frutos madurados a temperatura ambiente sin refrigeración.

^Z Los valores con diferente letra dentro de la misma columna son estadísticamente distintos con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$.

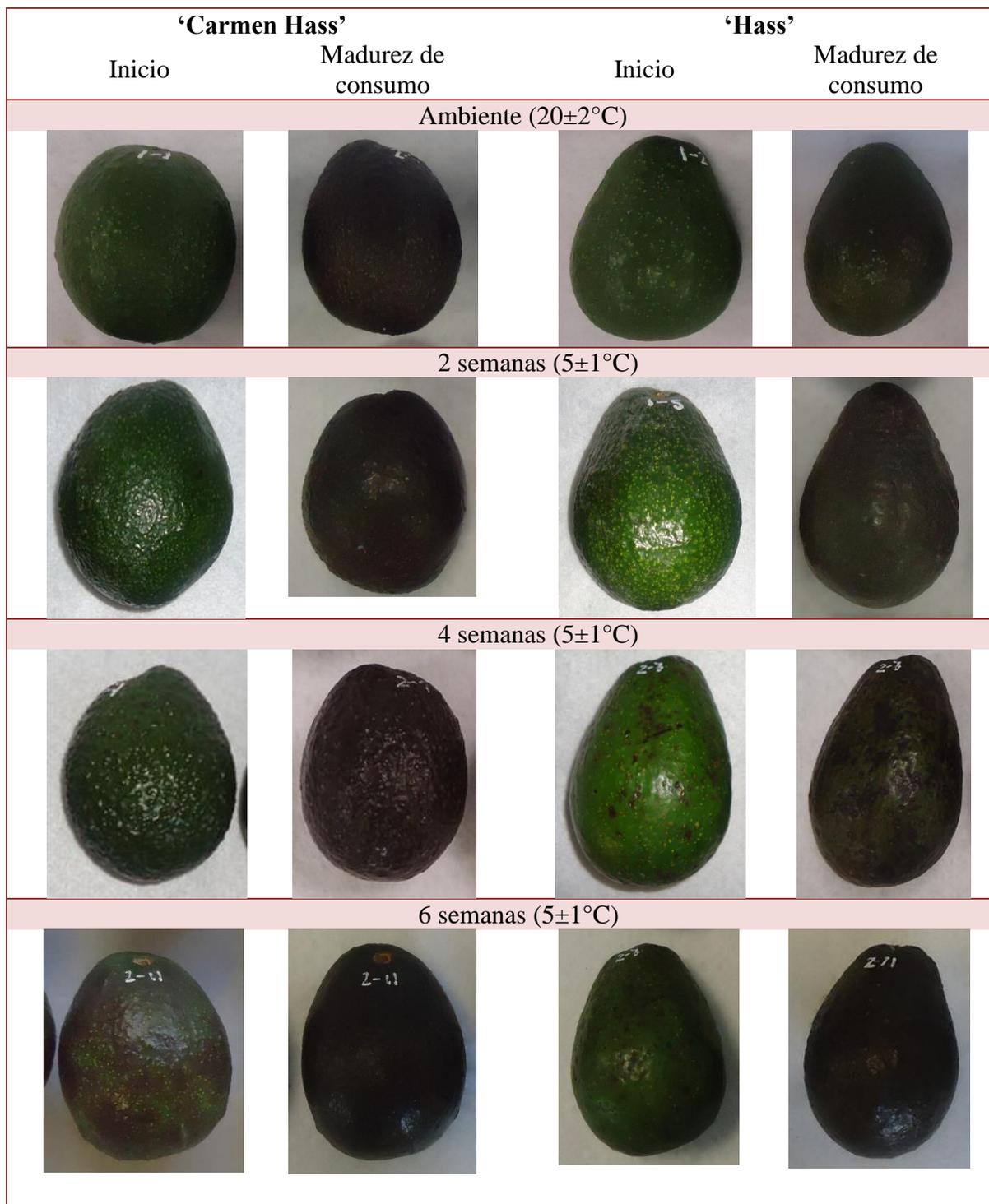


Figura 18. Cambios de color en el exocarpo, durante el proceso de maduración, de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente (20±2 °C) y por 2 semanas, 4 semanas y 6 semanas a 5±1°C.

5.2.4.2 Mesocarpio.

El color (luminosidad, croma y ángulo de tono) determinado en el mesocarpio, de ambos cultivares, con y sin refrigeración, mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) como resultado de las condiciones (temperatura y tiempo de almacenamiento) ensayadas (Cuadro 6). En cuanto a la luminosidad, los valores estimados en ambos cultivares, sin refrigeración y en aquellos a la salida de un almacenamiento de 2 y 4 semanas a bajas temperaturas mostraron valores similares, a excepción de los frutos almacenados por 6 semanas los cuales fueron menores (Cuadro 6). Para estos casos, los valores L disminuyeron ligeramente durante el proceso de maduración hasta alcanzar la madurez de consumo, caso contrario en los frutos con 6 semanas de almacenamiento, donde dicho valor aumentó (Figura 19). Ashton *et al.* (2006) observó que, para frutos de aguacate cv. Hass almacenados a 20 ± 1 °C, partiendo de una madurez fisiológica hasta madurez de consumo, el parámetro de color L disminuye lentamente durante el proceso normal de maduración. En contraste, y para el presente estudio, los frutos con un comportamiento del parámetro L de manera inversa sugiere que la exposición prolongada a bajas temperaturas sea la consecuencia de un síntoma de daño por frío.

En cuanto al índice de saturación (croma) los valores entre los frutos, ambos cultivares, sin refrigeración y aquellos almacenados por 2 semanas, fueron similares; sin embargo, la saturación del color en los frutos almacenados por 4 y 6 semanas fueron menores (Cuadro 6), lo que supone que un almacenamiento prolongado a bajas temperatura también inducen un daño por frío de tal manera que no permite que los frutos desarrollen una intensidad de color similar a los frutos control (sin refrigeración).

Respecto al tono o °Hue, no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$, Cuadro 6) por la prueba de Tukey a la salida de la refrigeración, los valores oscilaron entre 112 y 108 °hue, sólo al alcanzar la madurez de consumo los valores se ubicaron en un rango alrededor de 110 y 104 °hue (Cuadro 6). Esto coincide con lo observado por Ashton *et al.* (2006), quienes, para analizar el desarrollo del color en el mesocarpio de frutos de aguacate ‘Hass’, desde madurez fisiológica hasta madurez de consumo, definieron 3 zonas: pulpa amarilla (zona cercana a la semilla), pulpa verde pálido (zona intermedia) y pulpa verde oscuro (zona cercana al exocarpio); los valores °hue reportados en madurez fisiológica fueron de alrededor de 113, 105 y 101 °hue, respectivamente para cada zona, y con el tiempo disminuyeron significativamente. Cabe señalar que en la pulpa de los frutos de ambos cultivares, cuya refrigeración fue por 4 y 6 semanas, el color no evolucionó de manera normal, ya que ocurrió un oscurecimiento enzimático por incremento en la actividad de la enzima polifenol oxidasa derivado de daños por frío (Figura 19 y 22), lo cual es indeseable ya que afecta su sabor y disminuye la calidad (Aguiló-Aguayo *et al.*, 2014).

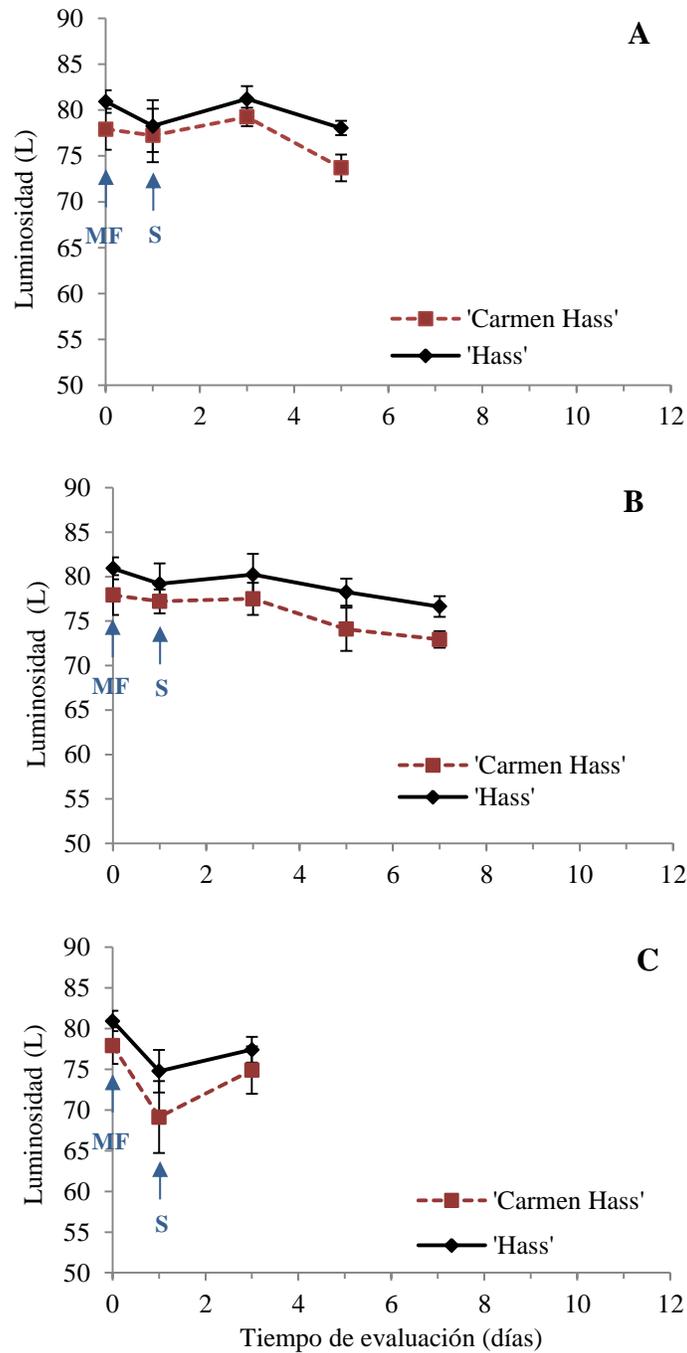


Figura 19. Comportamiento de la luminosidad, durante el proceso de maduración, en pulpa de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados por 2 semanas (A), 4 semanas (B) y 6 semanas (C) a 5 ± 1 °C. Medias \pm desviación estándar para $n=3$. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.

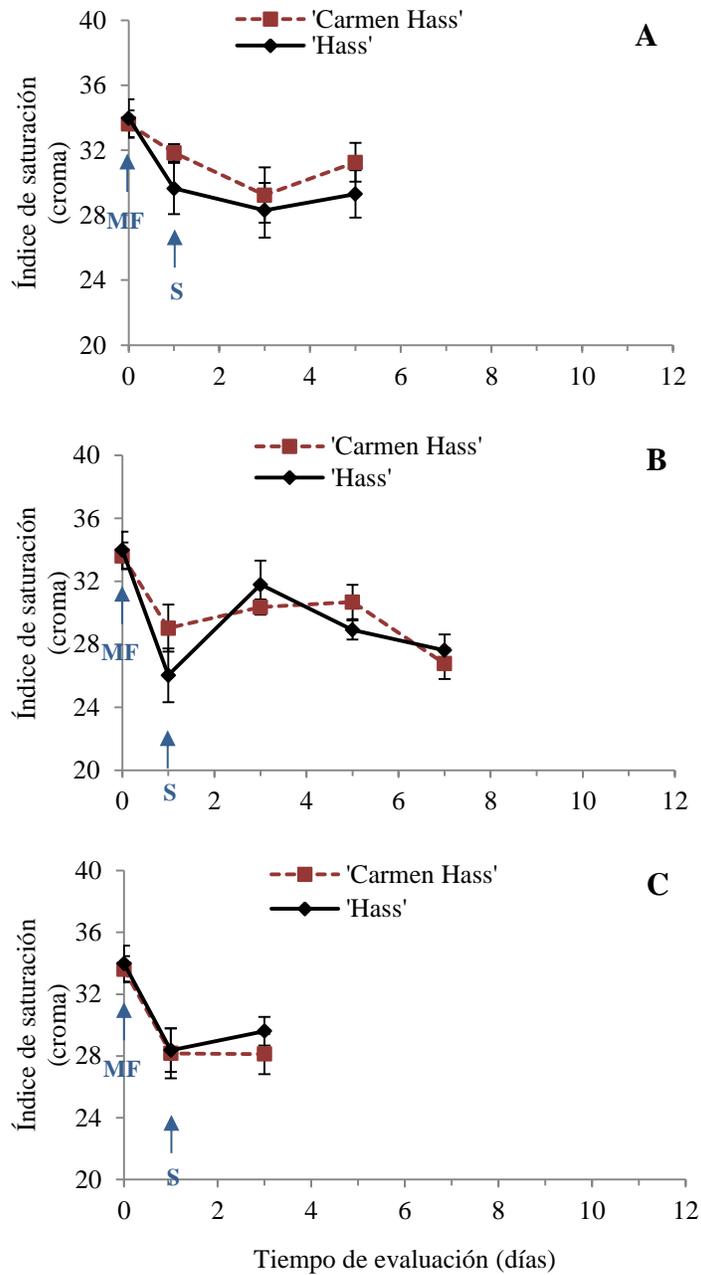


Figura 20. Comportamiento del índice de saturación (croma), durante el proceso de maduración, en pulpa de frutos de aguacate 'Carmen Hass' y 'Hass' almacenados por 2 semanas (A), 4 semanas (B) y 6 semanas (C) a 5 ± 1 °C. Medias \pm desviación estándar para $n=3$. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.

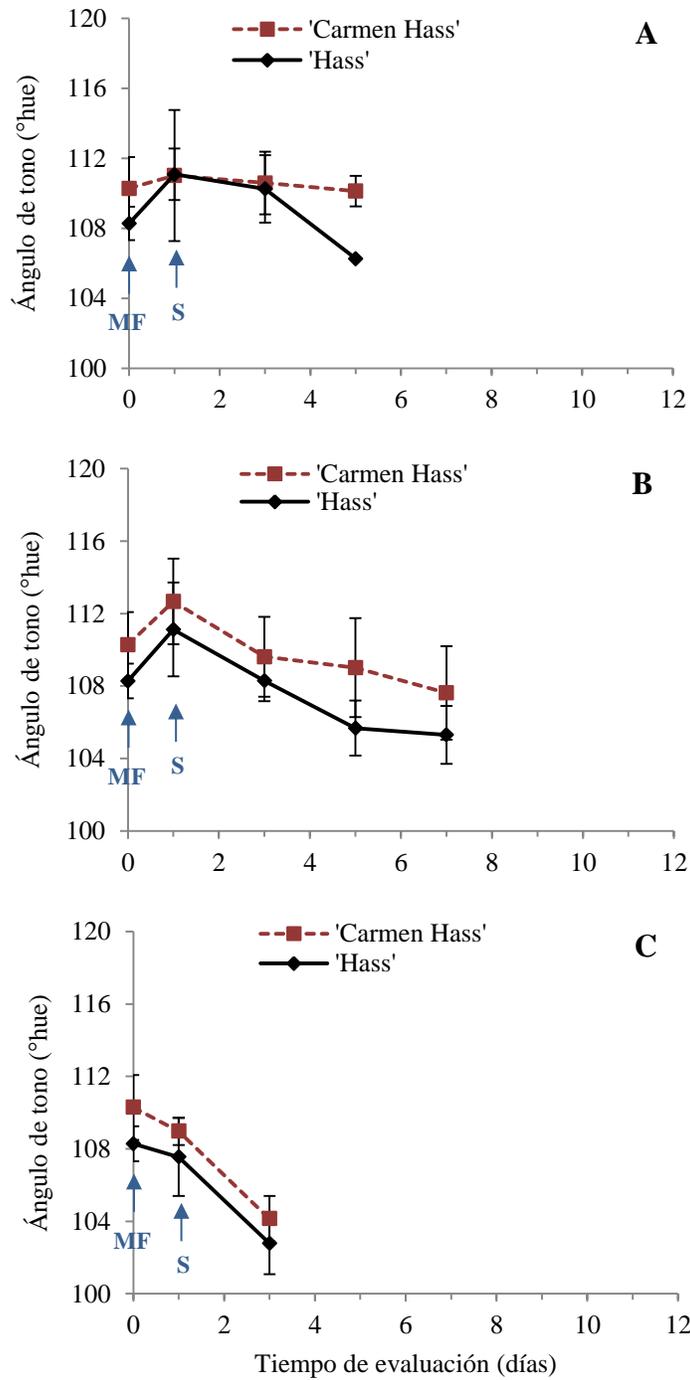


Figura 21. Comportamiento del ángulo de tono, durante el proceso de maduración, en pulpa de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados por 2 semanas (A), 4 semanas (B) y 6 semanas (C) a 5 ± 1 °C. Medias \pm desviación estándar para $n=3$. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.

Cuadro 6. Cambio de color interno promedio durante el proceso de maduración en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente (20±2 °C) y por 2, 4 y 6 semanas a 5±1 °C.

Variedad	Tiempo de almacenamiento (semanas)	Luminosidad (L)		Índice de saturación (C)		Ángulo de tono (°hue)	
		Salida	MC	Salida	MC	Salida	MC
‘Carmen Hass’	Ambiente*	77.91 ab ^Z	75.50 bcd	34.38 a	32.02 a	112.60 a	104.93 bc
	2	77.25 ab	73.70 cd	31.84 ab	31.27 ab	111.01 a	110.12 a
	4	77.21 ab	72.93 d	29.03 bc	26.77 d	112.67 a	107.63 ab
	6	69.13 c	74.88 bcd	28.16 cd	28.12 cd	108.97 a	104.13 c
‘Hass’	Ambiente*	80.93 a	79.58 a	33.98 a	31.67 ab	108.28 a	105.04 bc
	2	78.26 ab	73.70 cd	29.64 bc	31.26 ab	111.08 a	110.13 a
	4	79.18 ab	76.63 abc	26.03 d	27.62 cd	111.12 a	105.31 bc
	6	74.76 b	77.41 ab	28.37 cd	29.60 bc	107.55 a	102.78 c

Salida: inicio de evaluación una vez cumplido el tiempo en refrigeración.

MC: madurez comestible.

*Frutos madurados a temperatura ambiente sin refrigeración.

^Z Los valores con diferente letra dentro de la misma columna son estadísticamente distintos con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$.

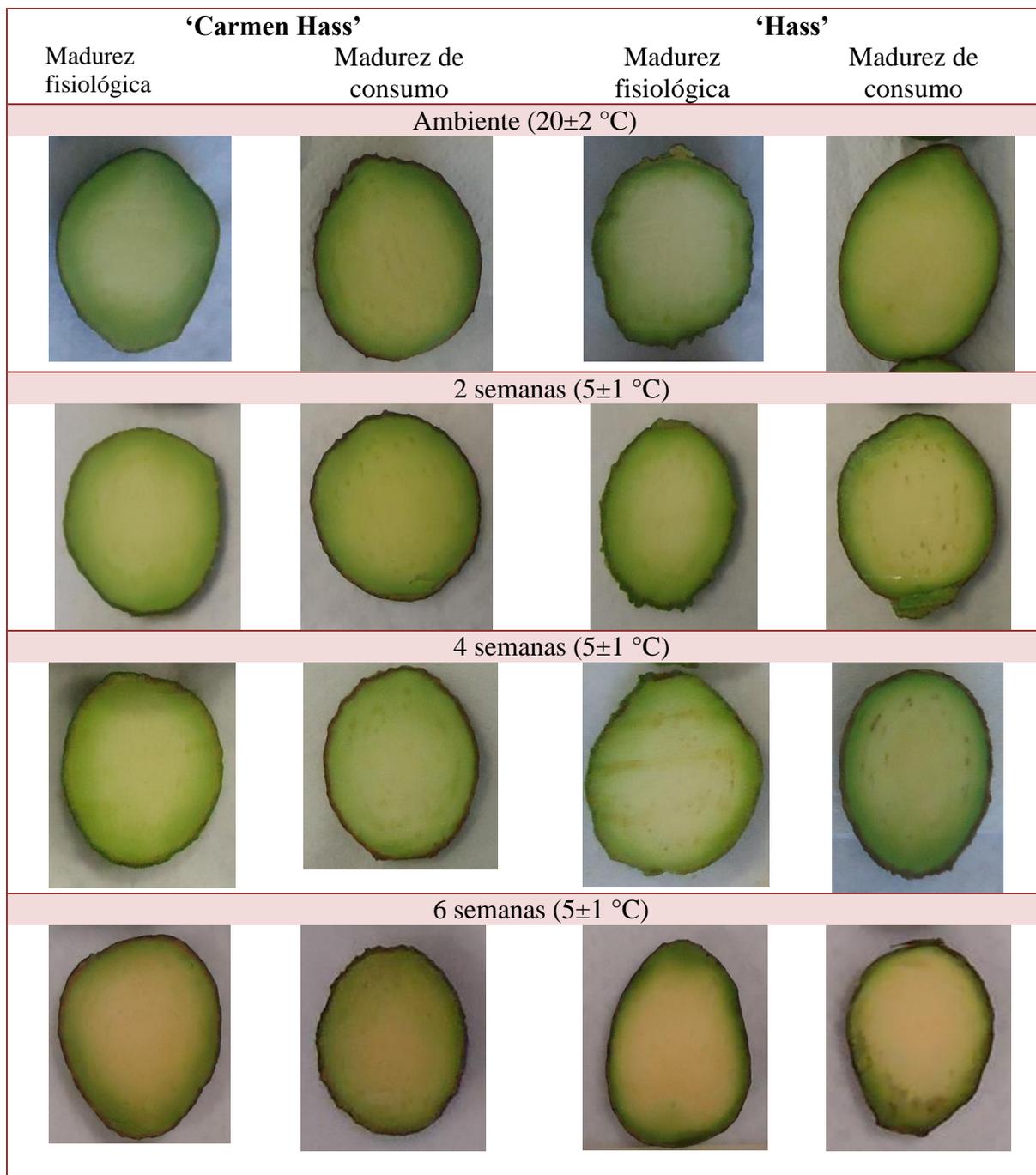


Figura 22. Cambios de color en el mesocarpio, durante el proceso de maduración, de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente (20 ± 2 °C), por 2 semanas, 4 semanas y 6 semanas a 5 ± 1 °C.

5.2.5 Concentración de pigmentos.

5.2.5.1 Concentración de clorofila en el exocarpio.

La concentración de clorofila disminuyó conforme el tiempo de almacenamiento fue incrementando (Cuadro 7). En el caso de la clorofila *a*, existieron diferencias significativas ($p < 0.05$, Cuadro 7) entre los tratamientos, al inicio de la evaluación (salida de refrigeración) y en estado de madurez de consumo; los frutos 'Hass' sin almacenamiento en refrigeración reportaron la mayor concentración de clorofila *a* al inicio del proceso de maduración, ($42.31 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) respecto a 'Carmen Hass' ($40.47 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$); sin embargo cuando los frutos adquirieron la madurez de consumo, 'Carmen Hass' mantuvo mayor concentración de este pigmento ($37.35 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) en relación a 'Hass' ($35.80 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$). Los frutos almacenados durante 6 semanas a $5 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ tuvieron la menor concentración de clorofila *a*, 'Carmen Hass' paso de $30.97 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ a $21.42 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ y 'Hass' de $25.12 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ a $21.76 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ (Cuadro 7).

En el cuadro 5 se observa que la concentración de clorofila *b* arrojó valores sin diferencias significativas ($p > 0.05$, Cuadro 7) entre los tratamientos y nuevamente, la concentración se minimizó al incrementar el tiempo de almacenamiento. En clorofila total no existieron diferencias significativas ($p > 0.05$, Cuadro 7) entre los tratamientos, en la salida; pero al completar la fase de maduración se encontró que la concentración de clorofila total en 'Carmen Hass' ($51.89 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) y 'Hass' ($55.41 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$), sin almacenamiento en refrigeración, fue estadísticamente mayor ($p > 0.05$) con respecto a aquellos que se almacenaron por 6 semanas, 'Carmen Hass' de $37.96 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ y 'Hass' de $38.60 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$, es decir que mostraron la mayor degradación de clorofila total, indicando que los

frutos pasaron de un color verde a una coloración purpura/negro; por lo que existió degradación de clorofila tal como lo reportaron Cox *et al.* (2004) quienes obtuvieron un contenido de clorofila en aguacate de 45.00 mg 100g⁻¹ al momento de la cosecha, pero conforme transcurrió el proceso de maduración el contenido de este pigmento disminuyó hasta 20.00 mg 100g⁻¹. Domínguez (2014) reportó en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ un decremento en la concentración de clorofila total, de 65.30 a 56.10 mg 100g⁻¹, durante el proceso de maduración a 20 °C, y de 63.90 a 43.00 mg 100g⁻¹ en frutos de la misma variedad, pero previo a su maduración, estos se almacenaron durante 2 semanas a 5°C.

Cuadro 7. Concentración de clorofila en cáscara de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente (20±2 °C) y por 2, 4 y 6 semanas a 5±1 °C.

Variedad	TA (semanas)	Clorofila <i>a</i> (mg 100g ⁻¹)		Clorofila <i>b</i> (mg 100g ⁻¹)		Clorofila total (mg 100g ⁻¹)	
		Salida	MC	Salida	MC	Salida	MC
‘Carmen Hass’	Ambiente*	40.47 a ^Z	37.35 a	21.66 a	14.10 a	62.58 a	51.89 a
	2	36.49 ab	26.46 bcd	21.37 a	19.21 a	58.26 a	45.96 ab
	4	32.32 ab	27.26 bcd	24.81 a	17.89 a	57.47 a	45.45 ab
	6	30.97 ab	21.42 d	18.87 a	15.97 a	50.18 a	37.96 b
‘Hass’	Ambiente*	42.31 a	35.80 ab	24.42 a	19.21 a	67.19 a	55.41 a
	2	32.99 ab	30.28 abcd	18.93 a	15.61 a	52.28 a	46.23 ab
	4	36.18 ab	31.25 abc	23.68 a	18.55 a	60.25 a	50.14 a
	6	25.12 b	21.76 cd	24.68 a	16.18 a	50.04 a	38.60 b

TA: tiempo de almacenamiento en refrigeración.

Salida: inicio de evaluación una vez cumplido el tiempo en refrigeración.

MC: madurez comestible.

*Frutos madurados a temperatura ambiente sin refrigeración.

^Z Los valores con diferente letra dentro de la misma columna son estadísticamente distintos con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$.

5.2.5.2 Concentración de clorofila y carotenos en el mesocarpio.

En el Cuadro 8 se muestra que el contenido de clorofila en el mesocarpio de los frutos de aguacate de las dos variedades ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’, la cual se observó que disminuyó conforme incrementó el tiempo de almacenamiento en refrigeración. Clorofila *a* y *b* no presentaron diferencias significativas ($p>0.05$, Cuadro 8) entre los tratamientos al inicio de la evaluación, sin embargo los frutos sin refrigeración presentaron la concentración mayor de clorofila *a* en estado de madurez de consumo ($18.12 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$), seguido de los frutos ‘Carmen Hass’ del mismo tratamiento ($15.83 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$). Los frutos de ambas variedades almacenados por 6 semanas a $5\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, arrojaron la menor concentración para este pigmento, $9.59 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ en ‘Carmen Hass’ y $11.92 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ en ‘Hass’. En frutos de aguacate ‘Hass’ sin frigoconservación, se detectó la mayor concentración de clorofila *b*, al inicio ($20.02 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) y al final ($11.90 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) de las evaluaciones, en relación a los demás tratamientos; en estado de madurez de consumo, los frutos ‘Carmen Hass’ almacenados durante 6 semanas en refrigeración, mostraron la menor concentración de clorofila *b*, $4.49 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$. En lo que se refiere a clorofila total, nuevamente los frutos ‘Hass’, madurados directamente al ambiente, mostraron la máxima concentración, al inicio ($39.11 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) y en la madurez comestible ($30.22 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$); y los frutos ‘Carmen Hass’ colocados durante 6 semanas en refrigeración, arrojaron la menor concentración para este pigmento, tanto al inicio ($22.12 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) como al final del proceso de maduración ($14.24 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) (Cuadro 8).

La concentración de carotenos no presentó diferencias significativas ($p>0.05$) entre cultivares ni por efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento, pero se observó un ligero incremento durante el proceso de maduración (Cuadro 8). Para los frutos madurados

directamente, sin almacenamiento en frío, se observó un incremento de 0.047 a 0.078 mg 100g⁻¹ en la variedad Carmen Hass y de 0.046 a 0.071 mg 100g⁻¹ en 'Hass'. En los frutos 'Carmen Hass', almacenados a 5±1 °C por 2, 4 y 6 semanas, la concentración de carotenos, en estado de madurez de consumo, fue de 0.076, 0.076 y 0.081 mg 100g⁻¹, respectivamente; para 'Hass' las concentraciones en los frutos comestibles fueron de 0.075 mg 100g⁻¹ (2 semanas), 0.069 mg 100g⁻¹ (4 semanas) y 0.079 mg 100g⁻¹ (6 semanas).

Hulme (1971) reportó una concentración de carotenos de 0.13 mg 100g⁻¹ para aguacate variedad Lula y de 0.51 mg 100g⁻¹ en aguacate 'Pollock'. Heinonen *et al.* (1989) y Lu *et al.* (2009) determinaron una concentración de α -carotenos, para aguacate 'Hass', de 0.019 mg 100g⁻¹ y 0.056 mg 100g⁻¹ respectivamente; mientras que Ashton *et al.* (2006) reportaron concentraciones de carotenos totales para aguacate 'Hass' almacenado s 20 °C de 0.18 mg 100g⁻¹ en pulpa verde y de 0.03 mg 100g⁻¹ en pulpa amarilla. La determinación de carotenos en la presente investigación se encuentran en el mismo orden de magnitud a lo reportado por estos autores. Domínguez (2014) reportó que la concentración de carotenos se incrementa en frutos de aguacate 'Carmen Hass' madurados a 20 °C, con un contenido de materia seca al momento del corte de 24.6%, de 0.040 a 0.090 mg 100g⁻¹, coincidente con lo observado en la presente investigación durante el proceso de maduración de los cultivares Carmen Hass y Hass.

Cuadro 8. Concentración de clorofila y carotenos en pulpa de frutos de aguacate ‘Carmen ‘Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente (20±2 °C) y por 2, 4 y 6 semanas a 5±1 °C.

Variedad	TA (semanas)	Clorofila <i>a</i> (mg 100g ⁻¹)		Clorofila <i>b</i> (mg 100g ⁻¹)		Clorofila total (mg 100g ⁻¹)		Carotenos (mg 100g ⁻¹)	
		Salida	MC	Salida	MC	Salida	MC	Salida	MC
‘Carmen Hass’	Ambiente*	18.07 a ^Z	15.83 ab	17.40 ab	9.60 ab	35.65 ab	25.60 ab	0.047 a	0.078 a
	2	21.70 a	12.60 abc	7.22 c	8.74 ab	29.17 abc	21.47 bc	0.051 a	0.076 a
	4	16.35 a	14.29 abc	9.99 bc	9.22 ab	26.52 bc	23.66 ab	0.055 a	0.076 a
	6	13.78 a	9.59 c	6.18 c	4.49 c	20.12 c	14.24 c	0.051 a	0.081 a
‘Hass’	Ambiente*	18.91 a	18.12 a	20.02 a	11.90 a	39.11 a	30.22 a	0.046 a	0.071 a
	2	20.83 a	13.14 abc	8.41 c	10.44 ab	29.49 abc	23.72 ab	0.045 a	0.075 a
	4	14.91 a	13.97 abc	8.77 c	7.72 bc	23.84 bc	21.85 bc	0.053 a	0.069 a
	6	18.98 a	11.92 bc	9.02 c	8.33 ab	28.22 abc	20.38 bc	0.049 a	0.079 a

TA: tiempo de almacenamiento en refrigeración;

Salida: inicio de evaluación una vez cumplido el tiempo en refrigeración.

MC: madurez comestible.

*Frutos madurados a temperatura ambiente sin refrigeración.

^Z Los valores con diferente letra dentro de la misma columna son estadísticamente distintos con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$.

5.2.6 Concentración de etanol y acetaldehídos.

Los frutos 'Carmen Hass' almacenados durante 2 semanas a 5 ± 1 °C incrementaron la producción de etanol de 7.45 a 94.48 mg $100g^{-1}$, de la misma forma los acetaldehídos pasaron de una concentración de 3.04 a 10.61 mg $100g^{-1}$; en los frutos de 'Hass', almacenados durante el mismo tiempo en refrigeración, también elevaron la producción de etanol (de 7.16 a 112.51 mg $100g^{-1}$) y acetaldehídos (de 7.06 a 12.75 mg $100g^{-1}$), cabe señalar que los frutos de las dos variedades de este tratamiento, reportaron la mayor concentración de etanol y acetaldehídos (Cuadro 9). En la Figura 23-A se muestra que etanol presentó diferencias significativas ($p < 0.05$, Anexo 8) entre las dos variedades durante el periodo de evaluación; tanto 'Carmen Hass' como 'Hass' disminuyeron la producción de esta variable hasta el día 3; sin embargo este metabolito se incrementó de manera rápida del día 3, cuando ocurrió la máxima producción de etileno, al día 5. Para el caso de los acetaldehídos, en 'Carmen Hass' estos se incrementaron durante los 5 días de evaluación y en 'Hass' durante los primeros tres días, a temperatura de maduración, aumentó su concentración, posteriormente disminuyeron (Figura 23-B). Corrales-García y Tlapa-Rangel (1999) señalan que en frutos de aguacate 'Hass' almacenados a 4 °C por 16 días, el contenido de etanol se incrementó de 2.90 a 44.30 mg $100g^{-1}$ y de acetaldehídos de 11.80 a 31.00 mg $100g^{-1}$ durante la fase de maduración. Por lo anterior, se deduce que los frutos de ambas variedades para este estudio presentan concentraciones, de estos compuestos volátiles, mayores a los reportados.

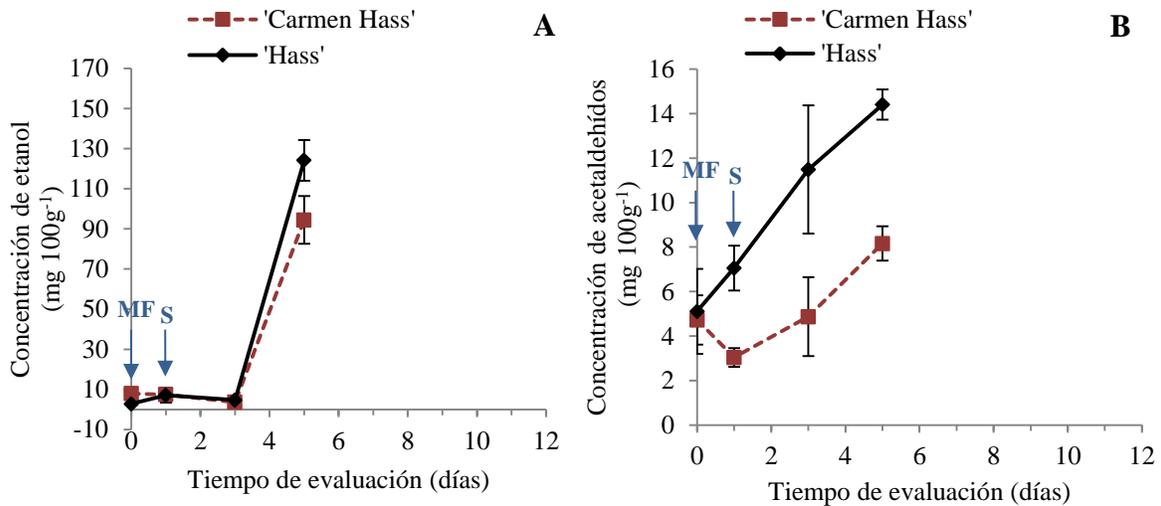


Figura 23. Comportamiento de la concentración de etanol (A) y acetaldehídos (B) durante el proceso de maduración de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados durante 2 semanas a 5 ± 1 °C. Medias \pm desviación estándar para $n=3$. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.

En la Figura 24 (A, B) se muestra que en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ almacenados durante 4 semanas en refrigeración, el etanol se incrementó a través del tiempo de maduración, de 5.57 a 18.89 mg 100g⁻¹, los acetaldehídos aumentaron del día 1 (0.79 mg 100g⁻¹) hasta el día 5 (\approx 8.00 mg 100g⁻¹), después estos disminuyeron en el día 7 (6.49 mg 100g⁻¹); en los frutos ‘Hass’ se incrementó la concentración de etanol, de 3.23 a 25.66 mg 100g⁻¹; mientras que para acetaldehídos se tuvo una elevación del día 1 (3.09 mg 100g⁻¹) al día 3 (\approx 12.00 mg 100g⁻¹) y, este metabolito, disminuyó en el día 5 (5.30 mg 100g⁻¹) (Cuadro 9).

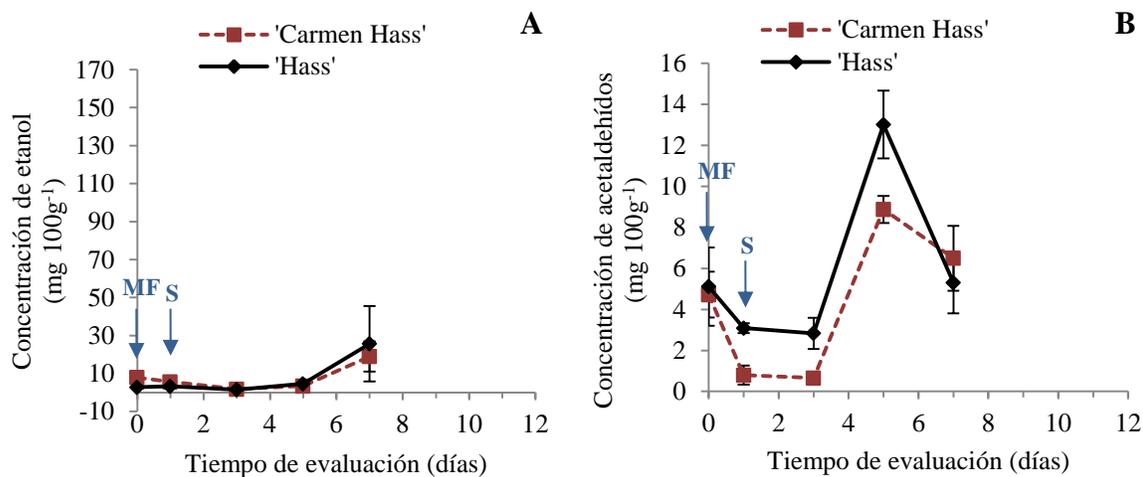


Figura 24. Comportamiento de la concentración de etanol (A) y acetaldehídos (B) durante el proceso de maduración de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados durante 4 semanas a 5 ± 1 °C. Medias \pm desviación estándar para $n=3$. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.

Después del almacenamiento en frío por 6 semanas, los frutos ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’, presentaron la mayor concentración inicial de etanol (‘Carmen Hass’ de $40.79 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ y ‘Hass’ de $16.03 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) y acetaldehídos (‘Carmen Hass’ de $7.13 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ y ‘Hass’ de $9.07 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$), con respecto a los otros tratamientos (Cuadro 9 y Figura 25-A, B), lo cual se debe al estrés y posible manifestación de daños por frío, por el tiempo de almacenamiento a una baja temperatura. Corrales-García (1997) observó en aguacates ‘Hass’ refrigerados a 2°C por 30 días presentaron mayor contenido de etanol con respecto a aquellos que se refrigeraron, a la misma temperatura y período, bajo atmósferas controladas.

Ritenour *et al.* (1997) y Pesis (2005), entre otros autores, ponen de manifiesto que, durante la maduración de frutos, algunos procesos esenciales implican la producción de

acetaldehído y etanol, los cuales incluyen la producción de aromas volátiles y disminución de la astringencia en frutos; ambos se acumulan durante la maduración, incluso en condiciones aerobias y el etanol, endógeno o aplicado de manera exógena, y a altas concentraciones, puede retrasar, incluso inhibir, la maduración de una amplia gama de frutos climatéricos. En este sentido, cabe mencionar que las concentraciones elevadas de acetaldehído y etanol a la salida de los frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ después de 6 semanas en frigoconservación, sugiere tuvieron un efecto adverso sobre la producción de etileno, esto tras observarse una baja producción de dicha fitohormona y un retraso en la maduración (Cuadro 4, véase Figura 11-C).

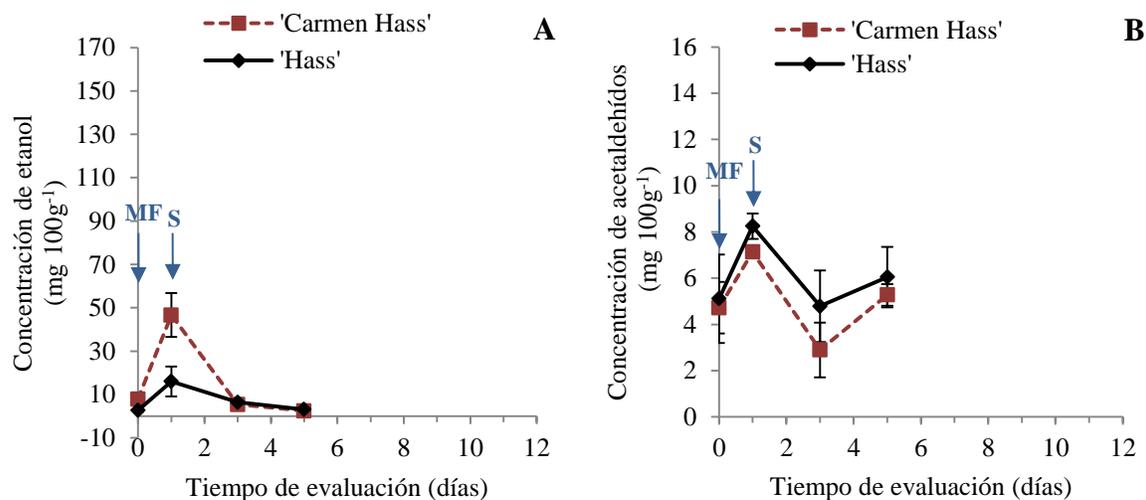


Figura 25. Comportamiento de la concentración de etanol (A) y acetaldehídos (B) durante el proceso de maduración de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados durante 6 semanas a 5 ± 1 °C. Medias \pm desviación estándar para $n=3$. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.

Cuadro 9. Concentración de etanol, acetaldehídos y fenoles totales en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente (20 ± 2 °C) y por 2, 4 y 6 semanas a 5 ± 1 °C.

Variedad	Tiempo de almacenamiento (semanas)	Etanol ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$)		Acetaldehídos ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$)		Fenoles totales ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$)	
		Salida	MC	Salida	MC	Salida	MC
‘Carmen Hass’	Ambiente*	7.89 b ^Z	70.46 ab	4.72 bc	9.02 ab	16.78 ab	11.30 ab
	2	7.45 b	94.48 ab	3.04 cd	8.16 bc	18.08 ab	13.51 ab
	4	5.57 b	18.89 b	0.79 d	6.49 bc	18.59 ab	17.01 a
	6	40.64 a	2.48 b	7.13 ab	5.27 c	16.92 ab	11.41 ab
‘Hass’	Ambiente*	2.74 b	34.71 b	5.11 bc	8.54 bc	14.79 b	13.98 ab
	2	7.16 b	124.21 a	7.06 ab	14.40 a	20.73 a	11.50 ab
	4	3.23 b	25.66 b	3.09 cd	5.30 c	15.41 b	13.36 ab
	6	16.03 b	3.15 b	9.07 a	6.04 bc	16.04 ab	9.30 b

Salida: inicio de evaluación una vez cumplido el tiempo en refrigeración.

MC: madurez comestible.

*Frutos madurados a temperatura ambiente sin refrigeración.

^Z Los valores con diferente letra dentro de la misma columna son estadísticamente distintos con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$.

5.2.7 Concentración de fenoles totales.

En la Figura 26-A se muestra que el comportamiento de los frutos de aguacate almacenados durante 2 semanas en frigoconservación de la variedad Hass, son estadísticamente diferente ($p < 0.05$ Anexo 8) a los de 'Carmen Hass'. Los frutos 'Hass', de este tratamiento, mostraron el mayor contenido de fenoles al inicio de la evaluación, $20.73 \text{ mg AG } 100\text{g}^{-1}$ (día 1), el día 3 incrementaron la concentración a $22.93 \text{ mg AG } 100\text{g}^{-1}$ para luego disminuir el quinto día, $11.50 \text{ mg AG } 100\text{g}^{-1}$; sin embargo los frutos 'Carmen Hass' disminuyeron su concentración del día 1 ($18.08 \text{ mg AG } 100\text{g}^{-1}$) al día 3 ($10.97 \text{ mg AG } 100\text{g}^{-1}$), después en el día 5, aumentó ligeramente a $13.55 \text{ mg AG } 100\text{g}^{-1}$.

Los frutos 'Hass' madurados directamente al ambiente y los almacenados durante 4 semanas en frío, mostraron al inicio, la menor concentración para esta variable, 14.79 y $15.41 \text{ mg AG } 100\text{g}^{-1}$, respectivamente. Los frutos 'Carmen Hass' almacenados durante 4 semanas no presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$, Anexo 10) con respecto a 'Hass' durante el proceso de maduración, aunque 'Carmen Hass' mostró la mayor concentración de fenoles ($17.01 \text{ mg AG } 100\text{g}^{-1}$) y 'Hass' (6 semanas) la menor concentración ($9.30 \text{ mg AG } 100\text{g}^{-1}$) en estado de madurez de consumo, con respecto a los demás tratamientos (Cuadro 9). La enzima fenilalanina amonioliasa (PAL) se involucra en la ruta biosintética de compuestos fenólicos y se ha observado que su actividad incrementa con la producción de etileno (Martínez y Whitaker, 1995). Teniendo en cuenta lo anterior, sugiere que, en los frutos almacenados en frigoconservación por 2 semanas, la actividad de PAL continuó en 'Hass' hasta el tercer día de maduración toda vez que alcanzó una concentración de hasta $22.93 \text{ mg AG } 100 \text{ g}^{-1}$, coincidiendo con el pico climatérico en cuanto a producción de etileno (véase Figura 11-A); en cambio, para el cultivar 'Carmen Hass', la acción de la

enzima sugiere que sólo actuó hasta que el fruto llegó a madurez fisiológica ya que la concentración de fenoles se mantuvo en el mismo orden (Cuadro 9) en la salida de los frutos en los tres periodos de almacenamiento, y luego disminuyeron (Figura 26-A,B,C).

Por otro lado, pudo observarse pese a que la concentración de fenoles se mantuvo en el mismo orden sin diferencias significativas ($p>0.05$) durante el proceso de maduración, es decir, entre el valor inicial (madurez fisiológica y salida) hasta el determinado en madurez de consumo (Cuadro 9), sí fue ligeramente perceptible observar una disminución en la concentración de fenoles totales (Cuadro 9), lo que sugiere la presencia y comienzo de actividad de la enzima polifenoloxidasa sobre estos sustratos, iniciando un oscurecimiento (daño por frío), más evidente en el caso de los frutos almacenados por 6 semanas a bajas temperaturas (véase Figura 22).

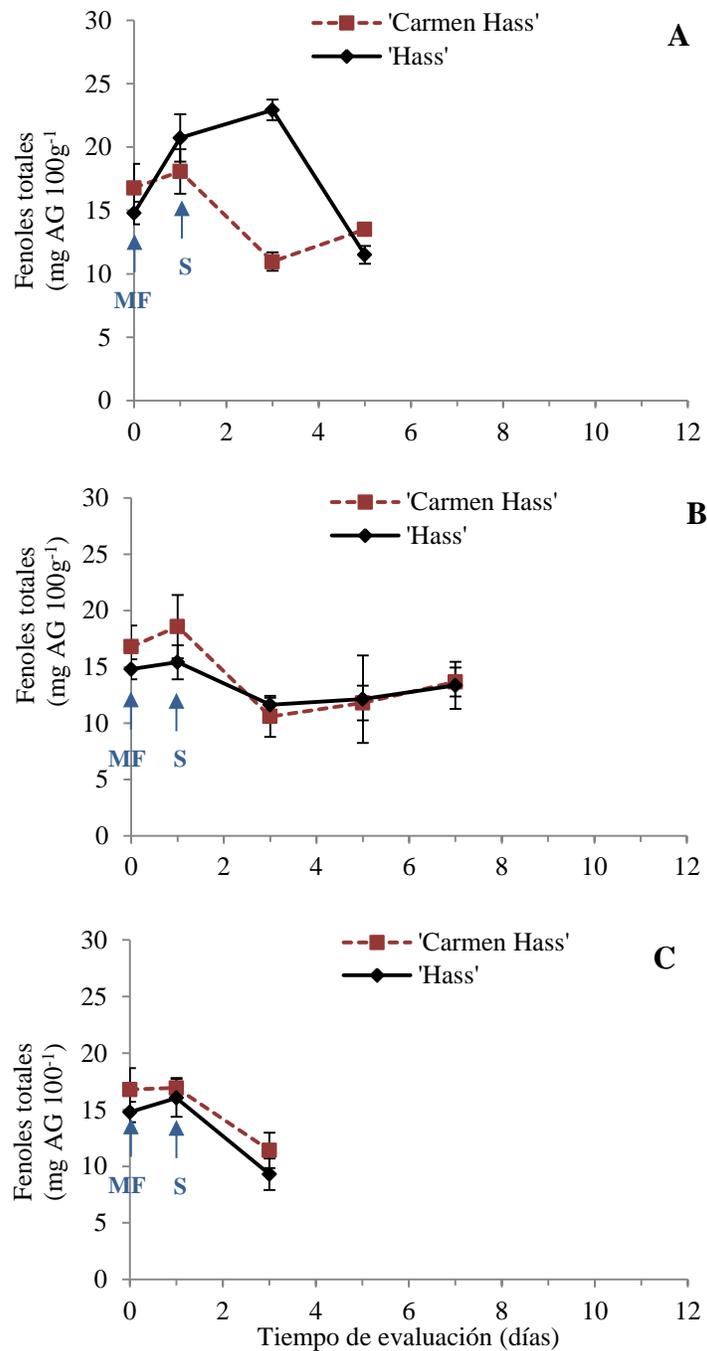


Figura 26. Comportamiento de la concentración de fenoles totales, durante el proceso de maduración, en pulpa de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados durante 2 semanas (A), 4 semanas (B) y 6 semanas (C) a 5 ± 1 °C. Medias \pm desviación estándar para $n=3$. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.

5.2.8 Concentración de azúcares totales y reductores.

Por lo que se refiere a la concentración de azúcares totales y reductores en los frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’, las concentraciones determinadas en madurez fisiológica se encontraron en el mismo orden de magnitud entre ambos cultivares; y, las concentraciones varían ligeramente después de un almacenamiento a 2, 4 y 6 semanas a bajas temperaturas (Cuadro 10). Por otro lado, cuando los frutos, ambos cultivares, fueron sometidos al almacenamiento a bajas temperaturas, se observó una ligera disminución hasta el momento de salida, y posteriormente una disminución significativa ($p < 0.05$) cuando los frutos fueron expuestos a la temperatura de maduración, lo que sugiere que los compuestos fueron requeridos para el proceso de respiración durante el almacenamiento y proceso de maduración (Figura 27, 28 y 29). En este sentido, los frutos ‘Carmen Hass’ almacenados durante 2, 4 y 6 semanas, disminuyeron la concentración de azúcares totales (17.62, 21.78 y 31.30 mg glucosa 100g^{-1}) y de azúcares reductores (16.12, 14.85 y 9.37 mg glucosa 100g^{-1}) al alcanzar la madurez de consumo. De igual forma en ‘Hass’, los azúcares totales disminuyeron a 13.44 mg glucosa 100g^{-1} (2 semanas), 22.97 mg glucosa 100g^{-1} (4 semanas) y 33.68 mg glucosa 100g^{-1} (6 semanas); y los azúcares reductores pasaron a 16.96 mg glucosa 100g^{-1} en frutos almacenados durante 2 semanas, en los almacenados por 4 semanas esta variable disminuyó a 14.01 mg glucosa 100g^{-1} y en los almacenados por 6 semanas a 13.59 mg glucosa 100g^{-1} (Cuadro 10 y Figura 27, 28 y 29). Romero-Sánchez (2012) reportó concentraciones de azúcares totales de 45.06 mg 100g^{-1} y azúcares reductores de 25.95 mg 100g^{-1} en frutos de aguacate variedad Lorena en estado de madurez de consumo, muy similares a los determinados en el presente estudio para ambos cultivares. Cabe señalar que los frutos, ambos cultivares, almacenados por 6 semanas a bajas temperaturas, mostraron la menor disminución de azúcares totales y reductores con

respecto al resto (Cuadro 10), lo que sugiere que un tiempo de exposición prolongado en frigoconservación ocasiona un daño por frío de tal manera que el fruto manifiesta una baja disposición de estos compuestos en el proceso de respiración y por ende no se observa un proceso de maduración normal.

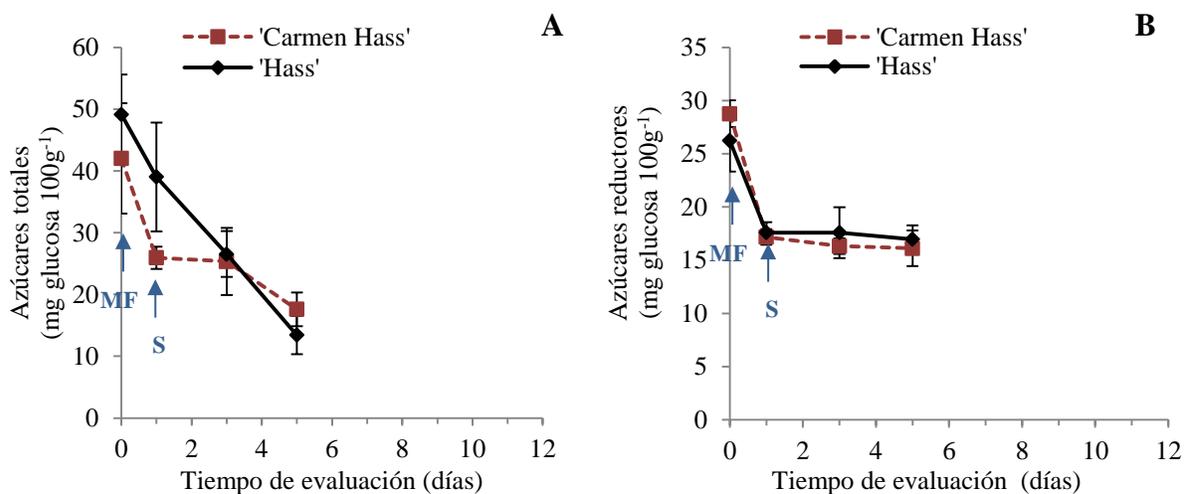


Figura 27. Comportamiento de la concentración de azúcares totales (A) y reductores (B), durante el proceso de maduración, en pulpa de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados durante 2 semanas a 5 ± 1 °C. Medias \pm desviación estándar para $n=3$. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.

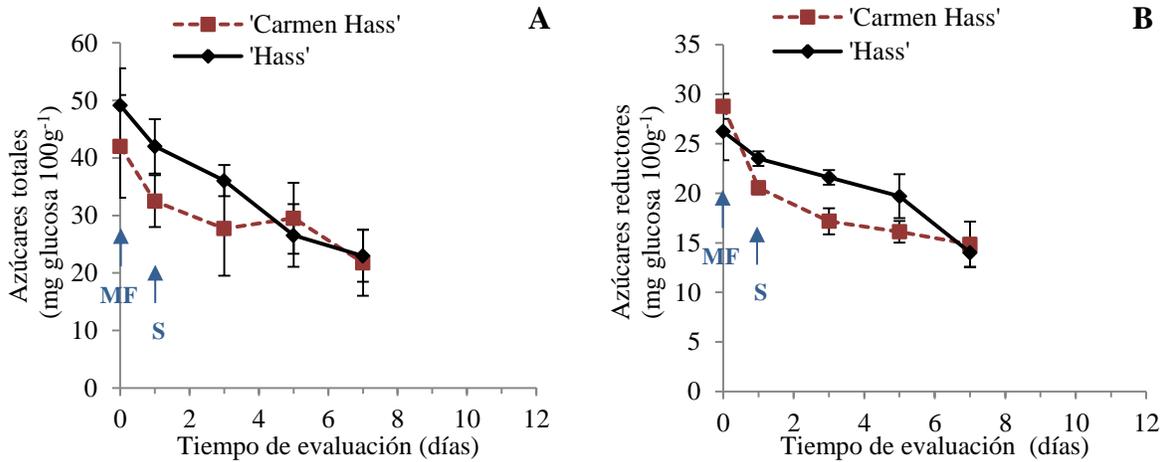


Figura 28. Comportamiento de la concentración de azúcares totales (A) y reductores (B) durante el proceso de maduración en pulpa de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados durante 4 semanas a 5 ± 1 °C. Medias \pm desviación estándar para $n=3$. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.

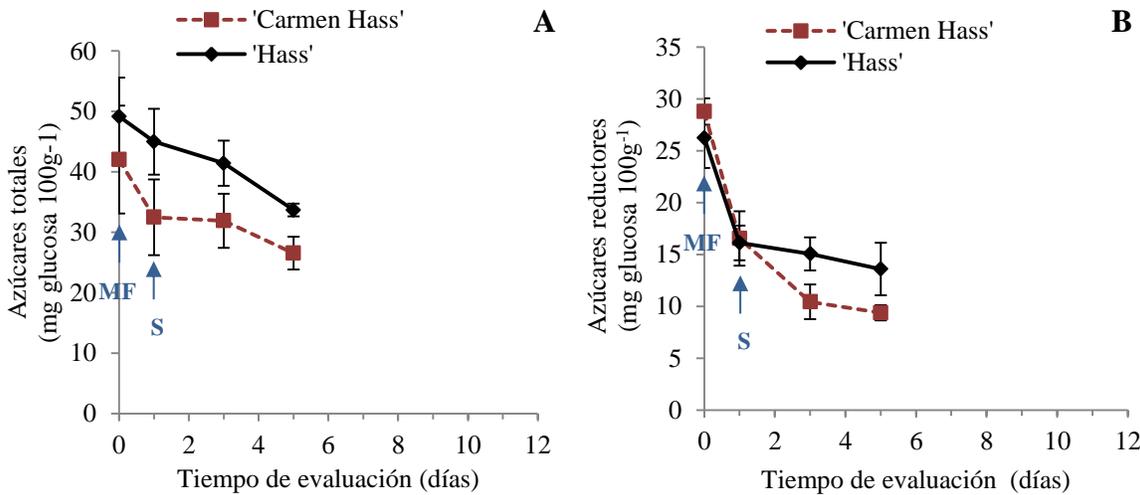


Figura 29. Comportamiento de la concentración de azúcares totales (A) y reductores (B) durante el proceso de maduración en pulpa de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados durante 6 semanas a 5 ± 1 °C. Medias \pm desviación estándar para $n=3$. MF: madurez fisiológica, S: salida de refrigeración.

Cuadro 10. Concentración de azúcares totales y reductores en pulpa de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}$) y por 2, 4 y 6 semanas a $5\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Variedad	TA (semanas)	Azúcares totales (mg glucosa/100 g)		Azúcares reductores (mg glucosa/100 g)	
		Salida	MC	Salida	MC
‘Carmen Hass’	Ambiente*	42.02 ab ^Z	17.61 cd	28.78 a	17.81 ab
	2	25.94 b	17.62 cd	17.17 d	16.12 ab
	4	32.49 ab	21.78 bcd	20.55 cd	14.85 ab
	6	32.49 ab	31.30 abc	16.54 d	9.37 c
‘Hass’	Ambiente*	49.16a	30.11 ab	26.24 ab	18.44 a
	2	39.04 ab	13.44 d	17.60 d	16.96 ab
	4	42.02 ab	22.97 bc	23.50 bc	14.01 ab
	6	44.99 a	33.68 a	16.12 d	13.59 bc

Salida: inicio de evaluación una vez cumplido el tiempo en refrigeración.

MC: madurez comestible.

*Frutos madurados a temperatura ambiente sin refrigeración.

^Z Los valores con diferente letra dentro de la misma columna son estadísticamente distintos con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$.

VI. CONCLUSIONES

Conclusiones del patrón de maduración al ambiente.

- Los frutos del cultivar Carmen Hass madurados a 20 ± 2 °C presentan menor producción de etileno, con relación al cultivar Hass.
- El color externo evaluado por índice de color, luminosidad e índice de saturación (croma) son mayores en el cultivar Hass, en tanto que el ángulo de tono (°hue) es mayor en 'Carmen Hass', lo que le da una tonalidad verde purpura más intensa y color más atractivo.
- Los frutos de 'Carmen Hass' en estado de madurez de consumo biosintetizan más etanol y acetaldehídos respecto a 'Hass', lo que se traduce en un aroma más intensa.
- En estado de madurez de consumo los frutos del cultivar Carmen Hass tuvieron menor concentración de fenoles totales en la pulpa, por lo que este cultivar es menos susceptible a oscurecimiento enzimático.
- Los frutos del cultivar Hass presentan mayor concentración de azúcares totales, al alcanzar la madurez de consumo, comparado con los frutos 'Carmen Hass', lo que indica diferencias en el sabor.

Conclusiones del almacenamiento en refrigeración

- Los frutos de aguacate de ambos cultivares reducen su producción de etileno luego de 2 semanas de refrigeración a $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$; sin embargo después de 4 semanas bajo las mismas condiciones la producción se eleva, por efectos de daños por frío y los frutos refrigerados por 6 semanas biosintetizaron baja concentración de etileno debido a que maduraron dentro de la cámara, esto se confirma por que salen con baja firmeza y una mayor pérdida de peso.
- Los cambios de color externo en los frutos de ambos cultivares almacenados en frío por 2 semanas presentaron una coloración típica, verde púrpura; no obstante los componentes del color (índice de color, luminosidad, índice de tono y ángulo de tono) de aquellos frutos de los dos cultivares que se refrigeraron por 4 y 6 semanas, mostraron que el color no evolucionó de manera normal, ya que presentaron manchado, lo cual indicó daños por frío.
- Los cambios de color interno evaluados por luminosidad, índice de saturación (croma) y ángulo de tono ($^{\circ}\text{hue}$) mostraron que la pulpa, de los frutos de ambos cultivares almacenados en refrigeración por 4 y 6 semanas, presentaron daños por frío, no así en los frutos que se refrigeraron durante 2 semanas.

- Los frutos de ambos cultivares refrigerados por 6 semanas presentaron alteraciones en aroma, indicadas por una elevada concentración de etanol y acetaldehído durante la refrigeración.
- La concentración de azúcares totales y reductores de los frutos del cultivar Hass refrigerados por 6 semanas, mostraron la mayor concentración de azúcares totales durante la fase de maduración.

RECOMENDACIONES

Se recomienda comparar la concentración de elementos minerales del cultivar Carmen Hass y Hass, y determinar su influencia sobre la calidad de los frutos durante el manejo postcosecha.

Realizar ensayos bajo atmosferas controladas que permitan definir el comportamiento postcosecha de los frutos Carmen Hass, así como análisis sensorial y nutracéuticos comparativos con el cultivar Hass, con la finalidad de precisar temperaturas y tiempos de almacenamiento sin afectar la calidad de los frutos.

VII. LITERATURA CITADA

- Abeles F. B., Morgan P. W. and Saltveit M. E. Jr. 1992. Ethylene in plant biology, 2nd ed. New York: Academic Press.
- Aguiló-Aguayo, I., G. Oms-Oliu, O. Martín-Belloso and R. Soliva-Fortuny. 2014. Impact of pulsed light treatments on quality characteristics and oxidative stability of fresh-cut avocado. *LWT - Food Science and Technology* 59:320-326.
- AOAC. 1990. Association of Official Analytic Chemists. Official Methods of Analysis. K. Helrich (ed). 15th Ed. 2200 Wilson Blvd. Arlington, Virginia 22201. USA. Vol. II. 1298 p.
- Arévalo-Galarza L., C. Saucedo-Veloz, E. Bustos-Ramírez y H. González-Hernández. 2002. Maduración de frutos de aguacate hass tratados con radiación gamma. *Agrociencia*, 36: 667-673.
- Arias, R., L. Tung Ching, L. Logendra, and H. Janes. 2000. Correlation of lycopene measured by HPLC with the L*, a*, b* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 1697–1702.
- Arpaia M. L. 1994. Preharvest Factors Influencing Postharvest Quality of Tropical and Subtropical Fruit. *Hortscience* 29:982-985.
- Arpaia, M. L..2005. Avocado postharvest quality – an overview. New Zealand and Australia Avocado Grower's Conference '05. 20-22 September 2005. Tauranga, New Zealand.
- Ashton, O. B. O. , M. Wong , T. K. McGhie , R. Vather , Y. Wang , C. Requejo-Jackman, P. Ramankutty, and A. B. Woolf. 2006. Pigments in Avocado Tissue and Oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54: 10151–10158.

- Badui S. D. 2006. Química De Los Alimentos. Cuarta edición. Edit. Pearson Educación. México 736pp.
- Bean, R. C. 1958. Changes in sugars during growth and storage of avocados. California Avocado Society Yearbook 42:90.
- Bergh, B. 1992. The origin, nature and genetic improvement of the avocado. California Avocado Society Yearbook 76:61-75.
- Berset, C., Caniaux, P. 1983. Relationship between color evaluation and chlorophyllian pigment content in dried parsley leaves. Journal of Food Science 48, 1854-1857.
- Blakey, R.J. 2011. Management of postharvest avocado physiology PhD thesis University of KwaZulu-Natal, pp196.
- Bleecker A.B., H. Kende. 2000. Ethylene: a gaseous signal molecule in plants. Annual Review of Cell and Developmental Biology 16:1-40.
- Bolívar-Fernández, N., C. Saucedo-Veloz, y E. Sauri-Duch 2011. Respiración y parámetros relacionados durante la maduración del chicozapote cosechado en la península de Yucatán. Revista Brasileira de Fruticultura Volumen Especial: 261-266.
- Buelvas-Salgado, G. A., J. H. Patiño-Gómez y J. A. Cano-Salazar. 2012. Evaluación del proceso de extracción de aguacate 'Hass' (*Persea americana* Mill.) utilizando tratamiento enzimático. Revista Lasallista de Investigación 9:138-150.
- Bulens I., B. Van de Poel , M. Hertog , M. P De Proft, A. H. Geeraerd and B. M. Nicolaï. 2011. Protocol: An updated integrated methodology for analysis of metabolites and enzyme activities of ethylene biosynthesis. Plant Methods 7:1-17.
- Burdon, J., N. Lallu, G. Haynes, P. Pidakala, D. Billing, P. Houghton, D. Voyle y H. Boldingh. 2011. Fruit carbohydrate content and quality of New Zealand-grown

- 'Hass' avocado fruit. p 10. En: Memorias VII World Avocado Congress. Cairns, Australia.
- Burg S. P. 2004. Postharvest Physiology and Hypobaric Storage of Fresh Produce. CABI Publishing. USA. 657 p.
- Campos, R.E ; U.E. SantaCruz, M.A.J Florez, G.M. Rivera y J.E. Rodríguez-Pérez, 2011. Dinámica de la acumulación de ácidos grasos en aguacate (*Persea americana* Mill.) selección 'Méndez' . Proceedings VII World Avocado Congress 2011 (Actas VII Congreso Mundial del Aguacate 2011). Cairns, Australia. 5 – 9 September 2011.
- Corrales-García J. y C. C. Tlapa-Rangel. 1999. Daños por frío y producción de etanol en aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass. Revista Chapingo Serie Horticultura 5: 345-351.
- Corrales-García, J. 1997. Physiological and biochemical responses of 'Hass' avocado fruits to cold-storage in controlled atmospheres. In: Seventh international controlled atmosphere research conference, Volume 3: Fruits other than apples and pears. Postharvest Horticulture 17: 69-74.
- Correa, L. G. 2004. Análisis de medidas repetidas. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia. UNAL-Medellín. 44 p.
- Couey, H.M. 1982. Chilling injury of crops of tropical and subtropical origin. HortScience 17:162-165.
- Cox, A. K., T. K. McGhie, A. White, and A. B. Woolf. 2004. Skin colour and pigment changes during ripening of 'Hass' avocado fruit. Postharvest Biology and Technology 31: 287-294.
- Davis, P. L. and W. G. Chase. 1969. Determination of alcohol in citrus juice by gas chromatographic analysis of head space. HortScience 4:117-119.

- Díaz, M. D. H. 2002. Fisiología de árboles frutales. AGT Editor, S. A. México, D. F. 390 p
- Domínguez, R. B. 2014. Proceso de maduración y calidad de fruto de aguacate cv. Carmen Hass. Tesis. Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México.
- Eaks, L. I. 1983. Effects of Chilling on Respiration and Ethylene Production of 'Hass' Avocado Fruit at 20°C. Horticultural Science 18:235-237.
- Ecker, J. R. 1995. The ethylene signal transduction pathway in plants. Science 268:667-675.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division (FAOSTAT). 2015. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/S>. Última consulta: Marzo 2015.
- Fidler, P.C., 1968. The metabolism of acetaldehyde by plant tissues. Journal of Experimental Botany 19: 41-51.
- Fischer G. 2002. Efecto de las condiciones en precosecha sobre la calidad poscosecha de los frutos. Revista Comalfi 27:39-50.
- Flitsanov, U., A. Mizrach, A. Lizberon, M. Akerman, and G. Zauberman. 2000. Measurement of avocado softening at various temperatures using ultrasound. Postharvest Biology and Technology 20:279-286.
- Gray, J.E. S. Picton, J. Shabbeer, S. Wolfgang, and D. Grierson. 1992. Molecular biology of fruit ripening and its manipulation with antisense genes. Plant Molecular Biology 19:69-87.
- Gustafson , C. D. and R. C. Rock. 1976. Costs to produce avocados in San Diego county. California Avocado Society Yearbook 60:22-24.

- Gutiérrez-Contreras, M., N. Lara-Chávez., H. Guillén-Andrade y A. Chávez-Bárceñas. 2010. Agroecología de la franja aguacatera en Michoacán, México. *Interciencia: Revista de Ciencia y Tecnología de América* 35:647-653.
- Haiyan, Z., Bedgood, D. R., Bishop, A. G., Prenzler, P. D., and Robards, K. 2007. Endogenous biophenol, fatty acid and volatile profiles of selected oils. *Food Chemistry* 100: 1544-551.
- Heinonen, M. I., V. Ollilainen , E. K. Linkola , P. T. Varo , P. E. Koivistoinen. 1989. Carotenoids in finnish foods: vegetables, fruits, and berries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 37: 655–659.
- Hershkovitz, V., H. Friedman, E. E. Goldschmidt, and E. Pesis. 2010. Ethylene regulation of avocado ripening differs between seeded and seedless fruit. *Postharvest Biology and Technology* 56:138-146.
- Hoffman, N. E. and Yang, S. F. 1980. Changes of 1-Aminocyclopropane-1-carboxylic Acid Content in Ripening Fruits in Relation to their Ethylene Production Rates. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 105:492-495.
- Hulme, A. C. 1971. *The Biochemistry of Fruits and their Products*. Academic Press. New York, USA. 763 p.
- Illsley, C. R. Brokaw, S. Ochoa and T. Bruwer. 2011. A precocious flowering avocado tree. *Proceedings VII World Avocado Congress 2011*. Cairns, Australia.
- Jiménez-Cuesta, M.; Cuquerella, J.; Martínez-Jávega, J.M. 1981. Determination of a color index for citrus fruit degreening. *Proceedings of the International Society of Citriculture* 2:750–753.

- Kader, A. A. 2002. Postharvest biology and technology: an overview. *In: Kader A. A. (ed), Postharvest technology of horticultural crops. California: University of California Agriculture and Natural Resources, Davis. Pp. 39-47.*
- Khan, N. 2006. Ethylene action in plants. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Knee, M. and S.G.S. Hatfield. 1981. The metabolism of alcohols by apple fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 32:593–600.
- Liu X., P. W. Robinson, M. A. Madore, G. W. Witney and Mary Lu Arpaia. 1999. ‘Hass’ Avocado Carbohydrate Fluctuations. II. Fruit Growth and Ripening. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 124:676–681.
- Lizada C. 1993. Mango. *In: Biochemistry of fruit ripening. G. B. Seymour, J. E. Taylor, G. A. Tucker (eds). Chapman & Hall. London. Pp:255-271.*
- López-López L. y J. F. Cajuste-Bontemps. 1999. Comportamiento postcosecha de fruta de aguacate cv. hass con base en la altitud de producción y tipo de floración. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5: 365-371.
- Lu, Q., Zhang, Y., Wang, Y., Wang, D., Lee, R. and Gao, K. 2009. California ‘Hass’ avocado: Profiling of carotenoids, tocopherol, fatty acid, and fat content during maturation and from different growing areas. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57:10408–10413.
- Lui, Y., N.E. Hoffman, S. F. Yang. 1985. Promotion by ethylene of the capacity to convert 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid to ethylene in preclimacteric tomato and cantaloupe fruit. *Plant Physiology* 77:407–411.
- Lyons, J.M., Raison, J. K. and Graham, D. 1979. Low temperature stress in crop plants – The role of the membrane. Academic Press. New York, NY, USA. 565 p.
- Mann, J. 1987. Secondary metabolism. Oxford University Press. 2nd Edition.

- Manrique, E. 2003. Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz. *Ecosistemas* 12: 1-11.
- Martinez, M.V. and Whitaker, J.R. 1995. The biochemistry and control of enzymatic browning. *Trends in Food Science and Technology* 6: 195-200.
- McGarvey, D. J. and R. E. Christoffersen. 1991. Characterization and Kinetic Parameters of Ethylene-forming Enzyme from Avocado Fruit. *The Journal of Biological Chemistry* 267:5964-5967.
- McGuire, R. G. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27:1254-1255.
- Mélendez-Martínez, A., Vicario I., Herendida F. 2004. Importancia nutricional de los compuestos carotenoides. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 54:145-154
- Melo, R. V. y T. O. Cuamatzi. 2007. *Bioquímica de los procesos metabólicos*. 2a. ed. Reverté, México. 406 pp.
- Meyer, M. and L. Terry. 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.
- Morris, L.L. 1982. Chilling injury of horticultural crops: An overview. *Horticultural Science* 17: 161-162.
- Naamani, G. 2007. Developments in the avocado world. *California Avocado Society Yearbook* 90:71-96.
- Nelson, M. 1944. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. *Journal of Biological Chemistry* 153:375.
- NMX-FF-016-SCFI-2006. Productos alimenticios no industrializados para uso humano – fruta fresca – aguacate (*Persea americana* Mill) – especificaciones.

- Obenlanda, D., S. Collin, J. Sievert, F. Negm, M. L. Arpaia. 2012. Influence of maturity and ripening on aroma volatiles and flavor in 'Hass' avocado. *Postharvest Biology and Technology* 71:41–50.
- Pesis, E. 2005. The role of anaerobic metabolites, acetaldehyde and EtOH, in fruit ripening, enhancement of fruit quality and fruit deterioration -Review. (I.B. Ferguson, and R.P. Cavalieri, eds.). *Postharvest Biology and Technology* 37: 1-19.
- Pesis, E., Ackerman, M., Ben-Arie, R., Feygenberg, O., Feng, X., Apelbaun, A., Goren, R. and Prusky, D. 2002. Ethylene involvement in chilling injury symptoms of avocado during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*. 24: 171-181.
- Pesis, E., D. Faiman and S. Dori. 1998. Postharvest effects of acetaldehyde vapour on ripening-related enzyme activity in avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology* 13:245–253.
- Pesis, E., Y. Fuchs, and G. Zauberman. 1978. Cellulase activity and fruit softening in avocado. *Plant Physiology* 61:416-419.
- Ritenour, M. A., M. E. Mangrich, J. C. Beaulieu, A. Rab, and M. E. Saltveit. 1997. Ethanol effects on the ripening of climacteric fruits. *Postharvest Biology and Technology*. 12: 35-42.
- Rocha-Arroyo, J. L., S. Salazar-García, A. E. Bárcenas-Ortega, I. J. L. González-Durán y L. E. Cossío-Vargas. 2011. Fenología del aguacate 'Hass' en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2:303-316.
- Romero-Sánchez, M. A. 2012. Comportamiento fisiológico del aguacate (*Persea americana* Mill.) Variedad Lorena en la zona de Mariquita, Tolima. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

- Rubí-Arriaga, M., A. L. Franco-Malvaíz, S. Rebollar-Rebollar, E. E. Bobadilla-Soto, I. Martínez- De La Cruz y Y. Siles-Hernández. 2013. Situación actual del cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) en el estado de México, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 16:93-101.
- SAGARPA. 2011. Monografía de cultivos Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/pablo/Documentos/Monografias/Monograf%C3%ADa%20del%20aguacate.pdf>.
- Salazar-García, S, L. Zamora-Cuevas y R. J. Vega-López. 2005. Update on the avocado industry of Michoacán, México. *California Avocado Society Yearbook* 87:45-54.
- Salazar-García, S., L. E. Cossio-Vargas, I. J. L. Gonzalez-Durán y C. J. Lovatt. 2007. Desarrollo floral del aguacate ‘hass’ en clima semicálido. Parte I. Influencia de la carga de fruto y edad de los brotes. *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 13:87-92.
- Salveit, M. E., and A.R. Sharaf. 1992. Ethanol inhibits ripening of tomato fruit harvested at various degrees of ripeness without affecting subsequent quality. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 117:793-798.
- Sanders, M. G., H. P.J. de Wild. 2003. The relation between in vivo ethylene production and oxygen partial pressure. *Postharvest Biology and Technology* 30:143-151.
- SAS. 2002. *Statistical Analysis System. Version 9.0.* SAS Institute N. C. USA.
- Saucedo-Hernández, L, M. T. Martínez-Damián, M. T. Colinas-León, A. F. Barrientos-Priego y J. J. Aguilar-Melchor. 2005. Aplicaciones Foliarias de nitrato de calcio en la maduración y daños por frío en aguacate ‘Fuerte’. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11:149-157.
- Seymour, G. B. and Tucker, G. A. 1993. Avocado. *In: Seymour G.B., Tayler, J., Trucker, G. A. (ed), Biochemistry of fruit ripening.* Chapman and Hall, London, Pp 53-81.

- SIAP 2012 http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=
- Sitrit, Y., Riov, J. and Blumenfeld, A. 1986. Regulation of ethylene biosynthesis in avocado fruit during ripening. *Plant Physiology* 81:130-135.
- Somogyi, M. 1952. Note on sugar determination. *Journal of Biological Chemistry* 195: 19.
- Téliz, O. D. y F. Marroquín P. 2007. Importancia histórica y socioeconómica del aguacate. *In: El aguacate y su manejo integrado*. D. Téliz y A. Mora (coord.). Mundiprensa., México, D.F. pp 1-28.
- Terry, L.A., 2011. *Health Promoting Properties of Fruit and Vegetables*. CAB International, Wallingford, UK.
- Torres A.M., T. Mau-Lastovicka and Rezaaiyan R. 1987. Total phenolics and high-performance liquid chromatography of phenolic acids of avocado. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 35:921-925.
- Undurraga, P., Olaeta, J.A. , G. Opazo. 2003. Caracterización histológica y bioquímica de desórdenes fisiológicos en paltas (*Persea americana* Mill.) cv. Hass en almacenaje refrigerado, en dos estados de madurez. *Actas V Congreso Mundial del Aguacate*. 19-24 Octubre 2003. Málaga España. Vol II pag 653-657.
- Van Lelyveld, L.J. and Bower, J.P. 1984. Enzyme reactions leading to avocado fruit mesocarp discoloration *The Journal of Horticultural Science* 59:257-263.
- Vasco C., Ávila J., Ruales J., Svanberg U., Kamal-Eldin A. (2009). Physical and chemical characteristics of golden-yellow and purplered varieties of tamarillo fruit (*Solanum betaceum* Cav.). *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60:278-288
- Villa-Rodríguez, F. J. Molina –Corral. J. F. Ayala-Zavala, G. I. Olivas y G. A. González-Aguilar. 2010. Effect of maturity stage on the content of fatty acids and antioxidant activity of ‘Hass’ avocado. *Food Research International* 44:1231-1237.

- Walton, T.J. and Kolattukudy, P.E. (1972). Determination of the Structures of Cutin Monomers by a Novel Depolymerization Procedure and Combined Gas Chromatography and Mass Spectrometry. *Biochemistry*. 11(10): 1885-1896.
- Wang, C.Y. 2010. Alleviation of Chilling Injury in Tropical and Subtropical Fruits. *Acta Horticulturae* 864: III International Symposium on Tropical and Subtropical Fruits.
- Wang, W., T. R. Bostic, and L. Gu. 2010. Antioxidant capacities procyanidins and pigments in avocados of different strains and cultivars. *Food Chemistry* 122:193-1198.
- Waterman, P.G. and S. Mole. 1994. *Analysis of Phenolic Plant Metabolites*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Whiley, A.W., B. Schaffer and B. N. Wolstenholme. 2002. *The Avocado: Botany, Production and Uses*. CABI Publishing, Wallingford, U.K. Pp. 416.
- Williams, L. O. 1977. The avocados, a synopsis of the genus *Persea*, subg *Persea*. *Economic Botany* 31:315-320.
- Wills, R., B. McGlasson, D. Graham, and D. Joyce. 1998. *Postharvest, an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals*. University of New South Wales. Press-Cab International. Sidney, Australia. 262 p.
- Witham, F. H., D. F. Blaydes and R. M. Devlin. 1971. *Experiments in Plant Physiology*. Van Nostrand Reinhold Company. New York, USA. 245 p.
- Woolf, A. B., A. White, M. L. Arpaia and K. C. Gross. 2004. Avocado. In: K. C. Gross, C. Y. Wang and M. Saltveit (eds). *Agriculture Handbook Number 66. The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks*.

- Woolf, B. A., K. A. Cox, A. White, and I. B. Ferguson. 2002. Low temperature conditioning treatments reduce external chilling injury of 'Hass' avocados. *Postharvest Biology and Technology* 28:113-122.
- Zarazúa-Escobar, J. A., Ma. T. Martínez-Damián, Ma. T. Colinas-León, A. F. Barrientos-Priego y J. J. Aguilar-Melchor. 2005. Frigoconservación y atmósferas modificadas en frutos de aguacate mínimamente procesado. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11:143-148.
- Zauberman G. and M. Schiffmann-Nadel. 1972. Pectin methylesterase and polygalacturonase in avocado fruit at various stages of development. *Plant Physiology* 49:864-865.
- Zeinolabedin, J., Rohola H. and S. Sharafi. 2013. Chilling stress in plants. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 5:2961-2968
- Zhang, Z., D. J. Huber, and J. Rao. 2011. Ripening delay of mid-climacteric avocado fruit in response to elevated doses of 1-methylcyclopropene and hypoxia-mediated reduction in internal ethylene concentration. *Postharvest Biology and Technology* 60:83-91.
- Zhefeng, L., Z. Silin and G. Don. 2009. Recent advances in ethylene research. *Journal of Experimental Botany* 60: 3311–3336.

ANEXOS

Anexo 1. Determinación de la materia seca

La determinación del contenido de materia seca se realizó por el método descrito en la norma NMX-FF-016-SCFI-2006. Para ello, se tomó una muestra de 10 g de pulpa y se deshidrató en un horno de microondas (General Electric) evitando su carbonización. La determinación se llevó a cabo en cinco frutos. El cálculo del porcentaje de materia seca se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de materia seca} = (\text{peso seco}/\text{peso fresco})/100$$

Se considera el 21.5 % en contenido de materia seca como el mínimo aceptable para la autorización de corte y proceso (NMX-FF-016-SCFI-2006).

Anexo 2. Curva estándar de carotenos.

Solución patrón. Se pesaron 2 mg de carotenos (reactivo químico grado sigma) los cuales se disolvieron en 100 mL de éter de petróleo para obtener una concentración de 2 mg 100 mL⁻¹. Después, a partir de la solución patrón, se realizaron las diluciones de acuerdo al Cuadro A2 y se midió la absorbancia a 454 nm (Figura A2).

Cuadro A2. Diluciones para preparación de curva estándar de carotenoides.

No. de muestra	Solución madre (mL)	Éter de petróleo (mL)
1	0	100
2	1	99
3	2	98
4	3	97
5	4	96
6	5	95
7	6	94
8	7	93
9	8	92
10	9	91

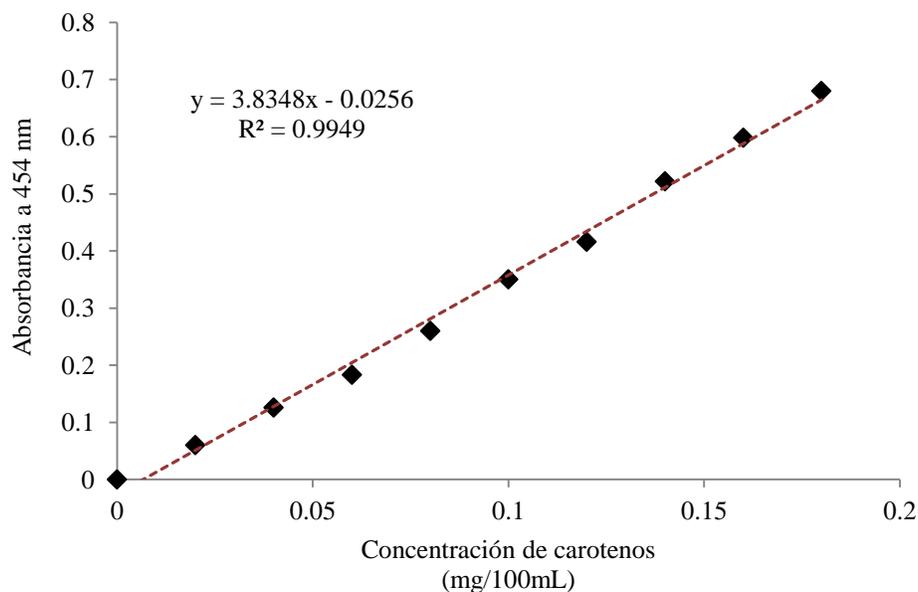


Figura A2. Curva estándar para carotenos.

Anexo 3. Curva estándar para azúcares totales por el método antrona.

Solución patrón. Se disolvieron 5 mg de glucosa en 50 mL de agua destilada.

De la solución patrón se tomaron las alícuotas mencionadas en el Cuadro A3 y se colocaron en tubos de ensaye, después se aforaron a 3 mL con agua destilada. Los tubos se colocaron en un baño de hielo, y se les agregó 6 mL de una solución de antrona, obtenida de una disolución de 4 g de antrona en 100 mL de ácido sulfúrico. Posteriormente, los tubos se colocaron en baño maría y se llevaron a temperatura de ebullición durante 3 min, luego se sumergieron en agua fría. En seguida, se registró la absorbancia a 600 nm (Figura A3).

Cuadro A3. Diluciones para preparación de curva estándar de azúcares totales.

No. de muestra	Solución patrón (mL)	Agua destilada (mL)
1	0.1	2.9
2	0.2	2.8
3	0.3	2.7
4	0.4	2.6
5	0.5	2.5
6	0.6	2.4
7	0.7	2.3
8	0.8	2.2
9	0.9	2.1
10	1.0	2.0

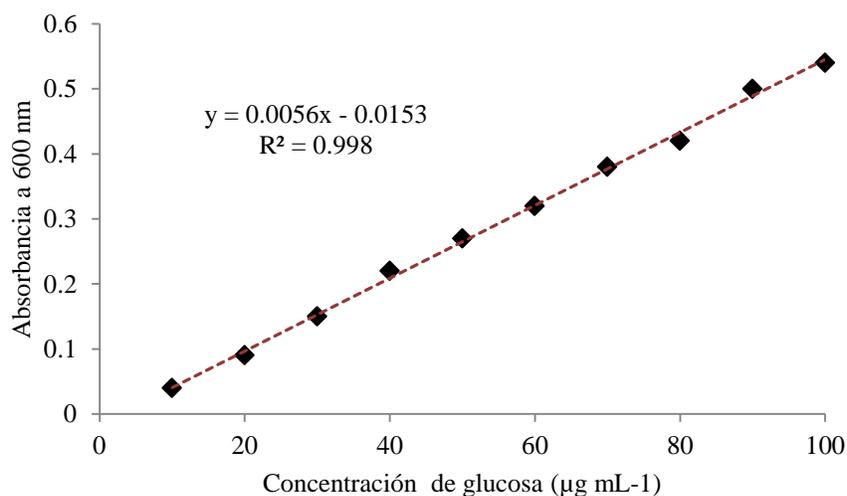


Figura A3. Curva estándar para azúcares totales por el método antrona.

Anexo 4. Curva estándar para cuantificación de azúcares reductores por el método

Nelson-Somogyi.

Solución patrón. Se disolvieron 5 mg de glucosa en 50 mL de agua destilada.

A partir de la solución patrón, se tomaron alícuotas de 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.9, 0.9 y 1.0 mL, y se colocaron en tubos de ensaye. En seguida, se agregó 1 mL del reactivo Nelson-Somogyi, se agitaron con un vortex y, las muestras cubiertas con aluminio, se colocaron en baño maría a ebullición por 20 min. Transcurrido el tiempo, se sumergieron en baño de hielo y nuevamente se agitaron con el vortex. Se agregó 1 mL del reactivo arseniomolibdato y se agitaron. Después, se agregó 7 mL de agua destilada y se agitó con el vortex. Finalmente, se registró la absorbancia a 540 nm.

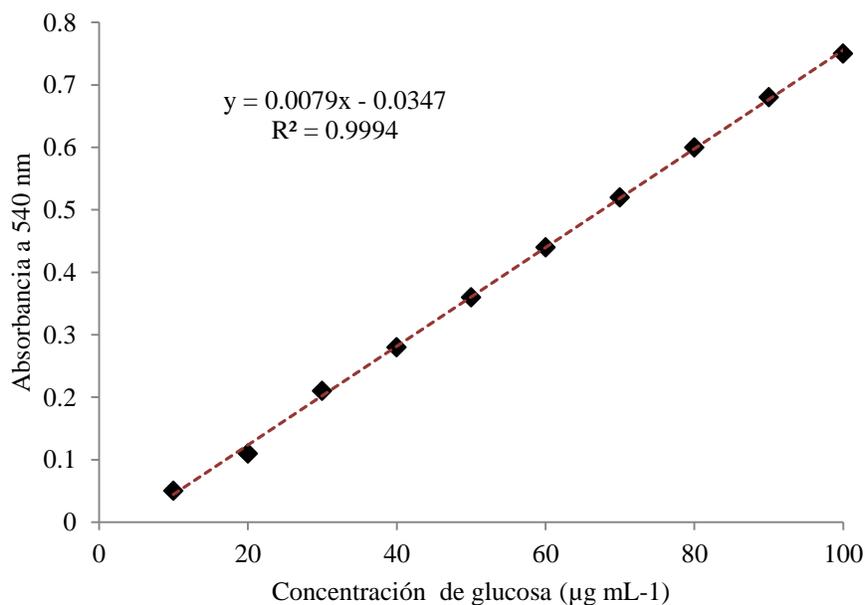


Figura A4. Curva estándar para azúcares reductores por el método Nelson-Somogyi.

Anexo 5. Curva estándar para fenoles totales por el método Folin Ciocalteu.

Solución patrón de ácido gálico. Se pesaron 0.010g de ácido gálico y se disolvieron en 1 mL de etanol al 100%. Una vez disuelto, se aforó a 100 mL de agua destilada.

De acuerdo al Cuadro A5, se prepararon las diluciones a las cuales se les agregó 100 μ L del reactivo Folin Ciocalteu (1:1 agua) y 200 μ L de carbonato de sodio al 20%. Luego, se dejaron reposar por 30 min y se tomaron lecturas de absorbancia a 454 nm (Figura A5).

Cuadro A5. Diluciones para preparación de curva estándar de fenoles totales.

No. de muestra	Solución patrón (μ L)	Agua destilada (μ L)
1	0	2700
2	50	2650
3	100	2600
4	150	2550
5	200	2500
6	300	2400
7	400	2300
8	500	2200
9	600	2100

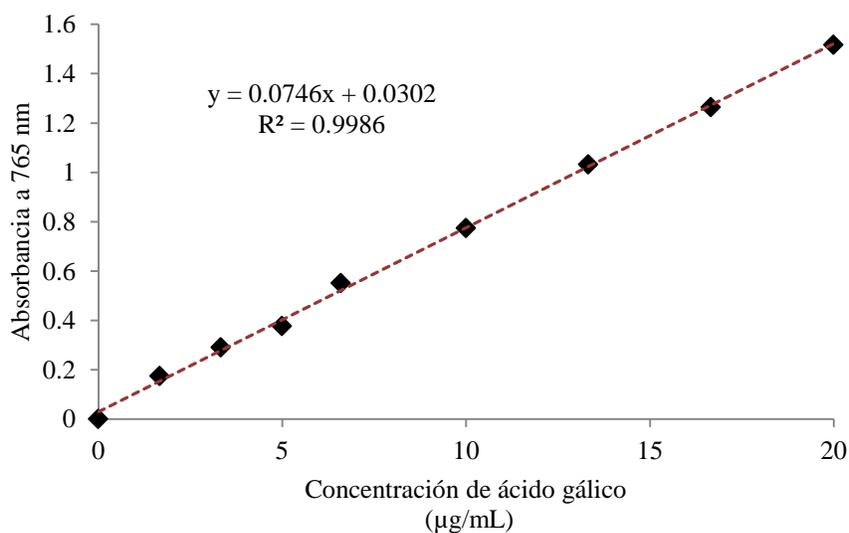


Figura A5. Curva estándar para fenoles totales por el método Folin-Ciocalteu

Anexo 6. Comparación de medias a través del tiempo, mediante la prueba de Tuckey ($p < 0.05$) de las variables de calidad en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente (20 ± 2 °C).

Variedad	Producción de etileno (C ₂ H ₄ kg ⁻¹ h ⁻¹)	Pérdida de peso (%)	Firmeza (N)	Etanol (mg 100g ⁻¹)	Acetaldehídos (mg 100g ⁻¹)	Fenoles totales (mg 100g ⁻¹)	A. totales (mg 100g ⁻¹)	A. reductores (mg 100g ⁻¹)
‘Carmen Hass’	b ^z	a	a	a	b	b	b	a
‘Hass’	a	a	a	b	a	a	a	a

A.: azúcares

^z Tratamientos con letras iguales no son estadísticamente diferentes, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Anexo 7. Comparación de medias a través del tiempo, mediante la prueba de Tuckey ($p < 0.05$) en el cambio de color externo e interno de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados al ambiente (20 ± 2 °C).

Variedad	Color externo				Color interno		
	IC	L	Croma	°hue	L	Croma	°hue
‘Carmen Hass’	b ^z	b	b	a	b	a	a
‘Hass’	a	a	a	b	a	a	b

^zTratamientos con letras iguales no son estadísticamente diferentes, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

IC: Índice de color

L: Luminosidad

Croma: Índice de saturación

°hue: Ángulo de tono

Anexo 8. Comparación de medias a través del tiempo, mediante la prueba de Tuckey ($p < 0.05$) de las variables de calidad en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados en refrigeración por 2 semanas a 5 ± 1 °C, seguido de temperatura de maduración (20 ± 2 °C).

Variedad	Producción de etileno (C_2H_4 $kg^{-1} h^{-1}$)	Pérdida de peso (%)	Firmeza (N)	Etanol (mg $100g^{-1}$)	Acetaldehídos (mg $100g^{-1}$)	Fenoles totales (mg $100g^{-1}$)	A. totales (mg $100g^{-1}$)	A. reductores (mg $100g^{-1}$)
‘Carmen Hass’	a ^Z	b	b	b	b	b	a	a
‘Hass’	a	a	a	a	a	a	a	a

^Z Tratamientos con letras iguales no son estadísticamente diferentes, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

A.: azúcares

Anexo 9. Comparación de medias a través del tiempo, mediante la prueba de Tuckey ($p < 0.05$) en el cambio de color externo e interno de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados en refrigeración por 2 a 5 ± 1 °C, seguido de temperatura de maduración (20 ± 2 °C).

Variedad	Color externo				Color interno		
	IC	L	Croma	°hue	L	Croma	°hue
‘Carmen Hass’	b ^z	b	b	a	b	a	a
‘Hass’	a	a	a	a	a	b	a

^zTratamientos con letras iguales no son estadísticamente diferentes, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

IC: Índice de color

L: Luminosidad

Croma: Índice de saturación

°hue: Ángulo de tono

Anexo 10. Comparación de medias a través del tiempo, mediante la prueba de Tuckey ($p < 0.05$) de las variables de calidad en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados en refrigeración por 4 semanas a 5 ± 1 °C, seguido de temperatura de maduración (20 ± 2 °C).

Variedad	Producción de etileno (C_2H_4 $kg^{-1} h^{-1}$)	Pérdida de peso (%)	Firmeza (N)	Etanol (mg $100g^{-1}$)	Acetaldehídos (mg $100g^{-1}$)	Fenoles totales (mg $100g^{-1}$)	A. totales (mg $100g^{-1}$)	A. reductores (mg $100g^{-1}$)
‘Carmen Hass’	a ^z	b	a	a	b	a	a	b
‘Hass’	a	a	a	a	a	a	a	a

^z Tratamientos con letras iguales no son estadísticamente diferentes, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

A.: azúcares

Anexo 11. Comparación de medias a través del tiempo, mediante la prueba de Tuckey ($p < 0.05$) en el cambio de color externo e interno de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados en refrigeración por 4 a 5 ± 1 °C, seguido de temperatura de maduración (20 ± 2 °C).

Variedad	Color externo				Color interno		
	IC	L	Croma	°hue	L	Croma	°hue
‘Carmen Hass’	b ^z	b	b	a	b	a	a
‘Hass’	a	a	a	a	a	a	b

^zTratamientos con letras iguales no son estadísticamente diferentes, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

IC: Índice de color

L: Luminosidad

Croma: Índice de saturación

°hue: Ángulo de tono

Anexo 12. Comparación de medias a través del tiempo, mediante la prueba de Tuckey ($p < 0.05$) de las variables de calidad en frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados en refrigeración por 6 semanas a 5 ± 1 °C, seguido de temperatura de maduración (20 ± 2 °C).

Variedad	Producción de etileno (C_2H_4 $kg^{-1} h^{-1}$)	Pérdida de peso (%)	Firmeza (N)	Etanol (mg $100g^{-1}$)	Acetaldehídos (mg $100g^{-1}$)	Fenoles totales (mg $100g^{-1}$)	A. totales (mg $100g^{-1}$)	A. reductores (mg $100g^{-1}$)
‘Carmen Hass’	b ^Z	b	a	a	a	a	b	a
‘Hass’	a	a	a	b	a	a	a	a

^ZTratamientos con letras iguales no son estadísticamente diferentes, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

A.: azúcares

Anexo 13. Comparación de medias a través del tiempo, mediante la prueba de Tuckey ($p < 0.05$) en el cambio de color externo e interno de frutos de aguacate ‘Carmen Hass’ y ‘Hass’ almacenados en refrigeración por 6 a 5 ± 1 °C, seguido de temperatura de maduración (20 ± 2 °C).

Variedad	Color externo				Color interno		
	IC	L	Croma	°hue	L	Croma	°hue
‘Carmen Hass’	b ^z	b	b	a	b	a	a
‘Hass’	a	a	a	a	a	a	a

^zTratamientos con letras iguales no son estadísticamente diferentes, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

IC: Índice de color

L: Luminosidad

Croma: Índice de saturación

°hue: Ángulo de tono