

Maduración en poscosecha de frutos de aguacate cultivares Hass y Méndez tratados con etefón

Postharvest ripening of Hass and Mendez avocado fruits treated with ethephon

Nallely Rosas Flores ¹, Crescenciano Saucedo Veloz ², Daniela Saucedo Reyes ³, Alfredo López Jiménez ⁴, Salvador Valle Guadarrama ⁵, Martha Elva Ramírez Guzmán ⁶, Sergio Humberto Chávez Franco ⁷.

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México. ✉ nallely.rosas@colpos.mx

²Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México. ✉ sauveloz@colpos.mx

³Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México. ✉ danielareyes_4@hotmail.com

⁴Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México. ✉ lopezja@colpos.mx

⁵Universidad Autónoma Chapingo, México. ✉ svalle77g@gmail.com

⁶Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México. ✉ martharg@colpos.mx

⁷Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México. ✉ sergiocf@colpos.mx

Rec.: 2020-08-18 Acep.: 2020-10-26

Resumen

Un problema en poscosecha de aguacate (*Persea americana* Mill.) es la heterogeneidad en la maduración de los frutos, debido a diferencias en el momento de amarre y la incapacidad para madurar en el árbol, situación que provoca inconsistencias en la calidad y diferencias en la respuesta a tecnologías de conservación y procesamiento. En poscosecha, la aplicación de gas etileno en cámaras herméticas se ha utilizado para adelantar la maduración; sin embargo, se ha propuesto como alternativa el uso de liberadores de etileno en forma líquida (etefón), principalmente para el tratamiento de bajos volúmenes de fruta. El presente trabajo fue realizado en la zona productora de Salvador Escalante (Michoacán, México) con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de dos concentraciones de etefón en el tiempo y homogeneización de la maduración de frutos de los cultivares (cv.) de aguacate Hass y Méndez. Se cosecharon frutos con 23.4% (cv. Hass) y 24% (cv. Méndez) de materia seca; un grupo se sumergió en una solución de etefón 500 mg/l y otro, en 1000 mg/l, ambos durante 5 minutos; los frutos tratados, más un control fueron almacenados a 20 °C por 11 días. Se evaluaron cambios en la respiración, producción de etileno, pérdidas de peso, firmeza, color en epicarpio y en pulpa, concentración de fenoles totales, clorofila y carotenoides totales. Los resultados mostraron que las dosis de etefón de 1000 mg/l en cv. Hass y de 500 mg/l en cv. Méndez presentaron un proceso de maduración 2 días más temprano que el control.

Palabras clave: ácido 2-cloroetil fosfónico; calidad; índice de color; etileno; *Persea americana* Mill.

Abstract

A common problem in avocado (*Persea americana* Mill.) postharvest is the heterogeneity in the ripening of the fruits, due to differences in the time of fruit set and the inability to ripen on the tree, a situation that causes inconsistencies in the quality and differences in the response to preservation and processing technologies. In postharvest, the application of ethylene gas in hermetic chambers has been used to fasten ripening; However, the use of ethylene releasers in liquid form (ethephon) has been proposed as an alternative, mainly for the treatment of low volumes of fruit. The present work was carried out in the producing area of Salvador Escalante (Michoacán, Mexico) with the objective of evaluating the effect of the application of two concentrations of ethephon over time and homogenization of the ripening of fruits of avocado cultivars (cv.) Hass and Mendez. Fruits were harvested with 23.4% (cv. Hass) and 24% (cv. Méndez) of dry matter; one group was immersed in a 500 mg / 1 ethephon solution and another, in 1000 mg / 1, both for 5 minutes; the treated fruits, plus a control, were stored at 20 ° C for 11 days. Changes in respiration, ethylene production, weight loss, firmness, epicarp and pulp colour, the concentration of total phenols, chlorophyll and total carotenoids were evaluated. The results showed that ethephon doses of 1000 mg/l in cv. Hass and 500 mg/l in cv. Méndez presented a maturation process 2 days earlier than the control.

Key words: 2-chloroethyl phosphonic acid; colour index; ethylene; *Persea americana* Mill; quality.

Introducción

En poscosecha, los frutos de aguacate (*Persea americana* Mill.) cultivar (cv.) Hass presentan un comportamiento climatérico en el cual se identifican cuatro estados fisiológicos (Lallum et al., 2004) como respuesta al tratamiento con etileno: (1) inhibición, que constituye un periodo donde el fruto no es sensible al etileno exógeno (Iqbal et al., 2017); (2) preclimatérico, el etileno exógeno favorece la producción autocatalítica de etileno en el fruto; (3) climatérico, con producción autocatalítica de etileno asociada con el estímulo de los cambios inherentes a la maduración; y (4) posclimatérico, con descenso en la producción de esta fitohormona. Este comportamiento permite asumir la posibilidad fisiológica de adelanto del proceso de maduración mediante el estímulo de la síntesis de etileno en frutos en estado preclimatérico (Iqbal et al., 2017; Wei et al., 2020). Uno de los problemas poscosecha en aguacate cv. Hass y en su caso cv. Méndez, es la heterogeneidad en la maduración de los frutos debido a diferencias en el momento de amarre y la incapacidad de los frutos para madurar en el árbol, lo cual se traduce en inconsistencias en la calidad de estos, así como diferencias en la respuesta a la aplicación de tecnologías de conservación y procesamiento (Pedreschi et al., 2014; Hernández et al., 2016).

De acuerdo con diversos estudios (Arpaia et al. 2015, 2018; Wei et al., 2020) la aplicación de etileno exógeno en fase preclimatérica promueve y homogeniza la maduración, situación que en frutos de aguacate resulta importante al contar con frutos en fase de madurez comestible antes de tiempo y con lotes con calidad homogénea para fines de consumo en fresco y procesamiento. El 2-cloroetil fosfónico (Etefón) es un ácido orgánico líquido soluble en agua que se hidroliza a pH fisiológico (≥ 5) para formar etileno ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$), fosfato (H_2PO_4^-) y iones cloro (Cl^-), por tanto, en poscosecha de frutos constituye una alternativa al uso de gas etileno para adelantar y homogeneizar la maduración, lo cual permite contar con frutos listos para consumo en fresco o con fines de procesamiento. La cantidad de etileno liberado depende del pH de la solución y de la humedad relativa del ambiente; además la efectividad de respuesta varía de acuerdo con la especie, cultivar, tecnología de producción, dosis, forma de aplicación y temperatura (Arshad y Frankenberger, 2002; Pokhrel, 2013; Hu et al., 2017). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de dos concentraciones de ácido 2-cloroetil fosfónico en el tiempo y homogeneización de la maduración de los frutos de cultivares de aguacate cvs. Hass y Méndez.

Materiales y métodos

Material vegetal y tratamientos. Se cosecharon frutos de aguacate cultivares Hass y Méndez con $23.4 \pm 0.5\%$ y $24.0 \pm 0.3\%$ de materia seca (MS), respectivamente, desarrollados en la zona productora de Salvador Escalante (Michoacán, México). Previo al establecimiento del experimento se eliminaron aquellos frutos que presentaron daños externos y posteriormente, fueron separados en tres lotes de 38 frutos cada uno: uno de ellos permaneció como testigo, otro fue tratado durante 5 min por inmersión con una solución de 500 mg/l de etefón y el tercero recibió 1000 mg/l del producto anterior por un tiempo igual de 5 min. Las dos soluciones de etefón se prepararon con el compuesto Ethrel 240® de BAYER a 21.70 % en peso de ácido 2-cloroetil fosfónico, ambas soluciones se ajustaron a pH 5 con NaOH (10 N). Los frutos tratados fueron almacenados a 20 ± 2 °C y humedad relativa de 60 ± 5 % durante 11 días, para evaluar su maduración con base en variables fisiológicas, biofísicas y bioquímicas.

Intensidad respiratoria y producción de etileno. Se determinaron diariamente por cromatografía de gases de acuerdo con el método del espacio de cabeza (Tovar et al., 2011); para esto, de cada tratamiento se tomó una muestra al azar de ocho frutos, con los cuales se establecieron cuatro unidades experimentales (repeticiones) de dos frutos cada una, que fueron colocados en recipientes cerrados herméticamente de 2.12 l de capacidad durante 1 hora. Se tomó una muestra de 1 ml del gas del espacio de cabeza y se inyectó a un cromatógrafo de gases (Hewlett Packard, modelo 5890 serie II), con columna tipo abierta, empaque de capa porosa de sílica de gel que fue conectado simultáneamente a un detector de ionización de flama (FID) y a un detector de conductividad térmica (TCD). Las condiciones de operación fueron: temperatura de la columna 150 °C, FID 180 °C y TCD 180 °C; se utilizó un estándar de CO_2 con 500 $\mu\text{l/l}$ y de etileno con 20 $\mu\text{l/l}$, ambos de INFRA®. Los datos de respiración se reportaron como ml/l por hora de CO_2 y la concentración de etileno en $\mu\text{l/kg}$ por hora.

Pérdida de peso y de firmeza de frutos. Las pérdidas de peso se determinaron midiendo cada 2 días el peso de cinco frutos por tratamiento de manera individual con una balanza digital ALSEP EY-2200; para la obtención de datos se aplicó la Ecuación 1. La firmeza se determinó con un texturómetro (Wagner Force Five modelo FDV-30) con puntal cónico de 7 mm de diámetro; las medidas se realizaron cada 2 días en una muestra de cinco frutos por tratamiento. Los valores se reportaron en Newton (N).

$$P\acute{e}rdidas\ de\ peso\ (\%) = \frac{(Peso\ inicial - Peso\ final)}{Peso\ inicial} * 100 \quad \text{Ec. 1}$$

Cambio de color en el epicarpio. Se determinó de manera individual, en una muestra de cinco frutos por tratamiento, utilizando un colorímetro de reflexión HunterLab (Reston Virginia modelo D25-PC2) con un sistema de iluminación D65 y un ángulo de observador de 2°. Con los valores obtenidos (L^* , a^* y b^*) se calculó la luminosidad (L^*), el Índice de saturación o croma (C^*), el ángulo de tono o hue (H^*), el cambio de color y el índice de color (IC) de acuerdo con las Ecuaciones 2, 3, 4 y 5 (Henaó-Rojas y Rodríguez, 2016; Medina-Torres et al., 2017; Wrolstad y Smith, 2017).

$$C^* = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \text{Ec. 2}$$

$$H^* = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right) \quad \text{Ec. 3}$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad \text{Ec. 4}$$

$$IC = -10(ab)/L \quad \text{Ec. 5}$$

Cuantificación de fenoles totales (FT). La extracción de FT se realizó a partir de 1 g de pulpa y la adición de 10 ml de una solución metanol-agua (8:2 v/v), seguido de agitación hasta lograr un macerado homogéneo. La cuantificación se llevó a cabo según el método propuesto por Pio-León et al. (2012) con algunas modificaciones, entre ellas, a una alícuota de 200 de extracto se le agregó, en el orden siguiente: 2.5 ml de agua destilada, 100 μ l del reactivo Folin Ciocalteu-agua (1:1 v/v) y 200 μ l de Na_2CO_3 -agua (2:8 p/v); luego fueron conservados en oscuridad por 30 min y finalmente, se realizaron las lecturas de la densidad óptica (OD) a 765 nm en un espectrofotómetro digital (GENESYS 10V Thermo Electron Corporation), los resultados se reportaron como contenido de ácido gálico en mg/100 g de pulpa fresca (mg AG 100/g pf).

Extracción y cuantificación de clorofila y carotenoides totales. Para la extracción de clorofila (a , b y $total$) se empleó 1 g de pulpa a la cual se le agregaron 10 ml de acetona-agua (8:2 v/v), se maceró y dejó reposar por 24 h en oscuridad a 4 °C. La determinación se realizó siguiendo la metodología de Pompelli et al. (2013),

para lo cual se emplearon 3 ml del extracto y se tomaron las lecturas de la OD a 645 y 663 nm, los resultados se reportaron como μ g de clorofila a , b y $total/g$ de pulpa fresca. La extracción de carotenoides totales se hizo a partir del método propuesto por Acacio-Chirino et al. (2013) con algunas modificaciones, a 10 g de pulpa se le agregaron 20 ml de acetona, se maceró, agitó y decantó. Se agregó acetona hasta extraer completamente los pigmentos. Luego, al extracto le fueron adicionados 20 ml de éter de petróleo y 20 ml de agua destilada, se mezcló en forma suave y se dejó reposar por 10 min, transcurrido este tiempo se desechó la capa inferior y se repitió el proceso dos veces más. Una vez obtenido el extracto libre de acetona, se adicionaron 10 ml de hidróxido de sodio-agua (4:6 p/v) para saponificar la muestra. Finalmente, se hizo un lavado con 10 ml de Na_2SO_4 anhidro-agua (1:9 p/v) y se realizó la lectura a 454 nm. Los resultados se expresaron como μ g de β -caroteno/g en pulpa fresca. La extracción y cuantificación de clorofila y carotenoides se realizó después de 11 días de almacenamiento a 20 °C.

Análisis estadístico de datos. Se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis como una alternativa no paramétrica del análisis de varianza (ANOVA) para determinar la diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95% de confianza. Para clorofila y carotenoides se usó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2 x 3 [cultivar Hass y Méndez] y dosis de etefón (0, 500 y 1000 mg/l) asimismo, se realizó una comparación de medias Tukey con un nivel del 95% de confianza. Los datos fueron analizados con el paquete estadístico SAS software versión 9.0 (Brunner et al. 2018).

Resultados y discusión

En frutos de aguacate, el inicio del proceso de maduración está relacionado con los cambios en la sensibilidad a etileno en la fase preclimática, lo que significa la ocurrencia de producción autocatalítica de esta fitohormona hasta una concentración de estímulo fisiológico que favorece los cambios relacionados con la maduración (Lallum et al., 2004; Saltveit, 2019); además el etileno exógeno acelera la respiración y adelanta el climaterio (Hernández et al., 2016; Liu y Chervin, 2017; Saltveit, 2019). En este sentido, los frutos presentaron el patrón climaterio de respiración durante la maduración (Figura 1). En cv. Hass, el climaterio respiratorio resultó más elevado con un máximo de 122.93 ml/kg por hora de CO_2 luego de 8 días de almacenamiento a 20 °C en el tratamiento con 1000 mg/l de etefón; en el tratamiento con 500 mg/l resultó en el día nueve y, en el control, el máximo ocurrió a los 10 días bajo las mismas condiciones.

Por su parte, en los frutos de cv. Méndez, el tratamiento con 500 mg/l de etefón estimuló la mayor celeridad de respiración con un máximo de 157.34 ml/kg por hora de CO₂ a los 10 días de almacenamiento, seguido del control y tratamiento con 1000 mg/l, después de 11 días a 20 °C (Figura 1A, C). Para el caso de etileno, en cv. Hass, la producción auto catalítica se presentó a los 5 días de almacenamiento en los frutos tratados con 1000 mg/l y a los 7 días en los otros dos tratamientos (Figura 1B). Con respecto a cv. Méndez, los tratamientos con 500 y 1000 mg/l presentaron la producción auto catalítica a los 7 días, mientras que en el control ocurrió a los 8 días a 20 °C (Figura 1D). De manera similar, Blakey et al. (2012) encontraron en aguacate cv. Hass tratado con etefón (50 ml/l) un incremento significativo de la respiración y producción de etileno luego de seis horas de almacenamiento a 21 °C. Sañudo-Barajas et al. (2008) lograron en frutas de papaya Maradol adelantar la aparición del máximo climaterio en el día 3 después de la aplicación de 2.5 g/l de etefón, en comparación con el testigo que ocurrió el día 7, sin cambios significativos en la respiración.

Durante la maduración, las pérdidas de peso se incrementaron ($P < 0.05$) a medida que avanzó el tiempo de almacenamiento (Figura 2, Tabla 1). En frutos del cv. Hass la pérdida correspondió

a 5.28%, 6.05% y 6.74 % para el control, etefón 500 mg/l y etefón 1000 mg/l, respectivamente, después 9 días de exposición a 20 °C (Figura 2A). Los frutos de este cultivar tratados con etefón mostraron un deterioro severo después de 11 días de almacenamiento. En el cv. Méndez, después del mismo periodo de almacenamiento, las pérdidas de peso resultaron menores en el control (4.08%) en comparación con el tratamiento etefón 500 mg/l (5.32%) y etefón 1000 mg/l (5.73%) (Figura 2C). Bower y Jackson (2003) y Bower y Papli (2006) encontraron en frutos de aguacate que las pérdidas de peso constituyen uno de los principales factores de deterioro de la calidad, principalmente cuando éstas superan 6%, condición que se mantiene para el cv. Méndez los 9 días de almacenamiento. Martin y Rose (2014) indicaron que el contenido y composición de ceras cuticulares, epicuticulares e intracuticulares, acumuladas durante el desarrollo de los frutos influyen de manera importante en la sensibilidad a pérdidas de agua durante el manejo poscosecha, lo cual significa que, entre ambos cultivares evaluados, existen diferencias en acumulación de estos compuestos siendo más sensible la del cv. Hass (Figura 2).

Por otra parte, en ambos cultivares la firmeza de la pulpa disminuyó ($P < 0.05$) con el avance del proceso de maduración (Figura 2, Tabla 1).

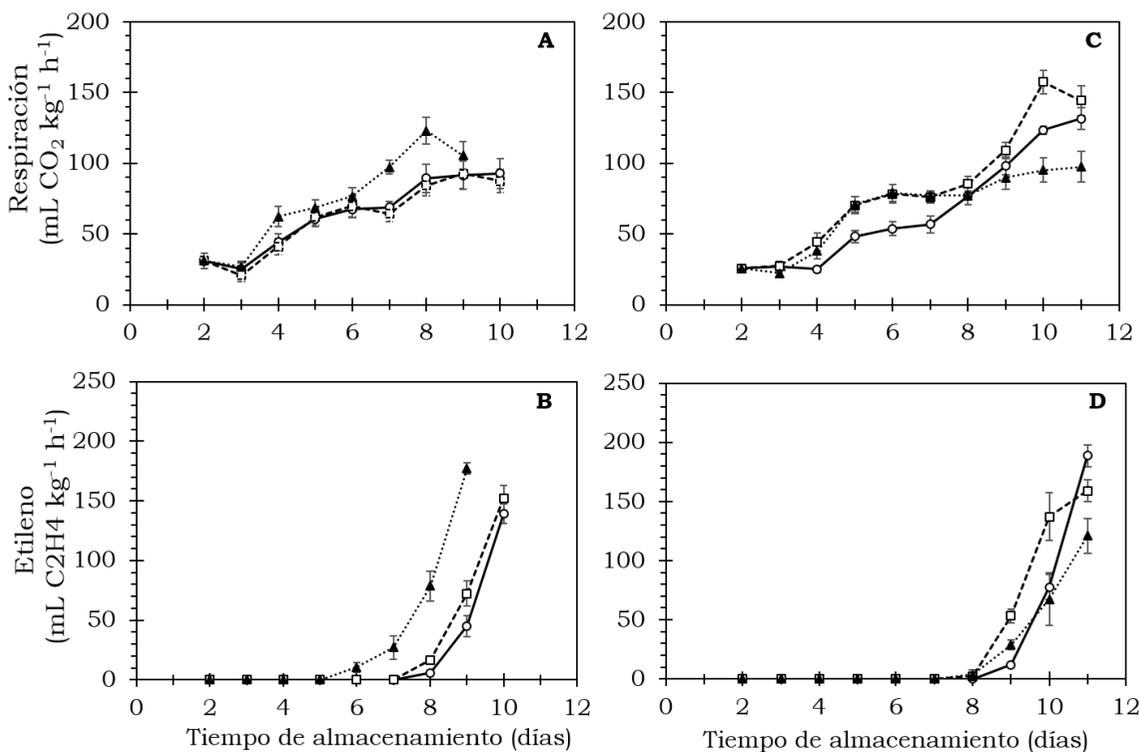


Figura 1. Intensidad respiratoria y producción de etileno en frutos de aguacate cv. Hass (A, B) y cv. Méndez (C, D) tratados con: 0 (—○—), 500 (---□---) y 1000 (····△····) mg/l de etefón y almacenados a 20 ± 2 °C. Medias ± DE, n = 4.

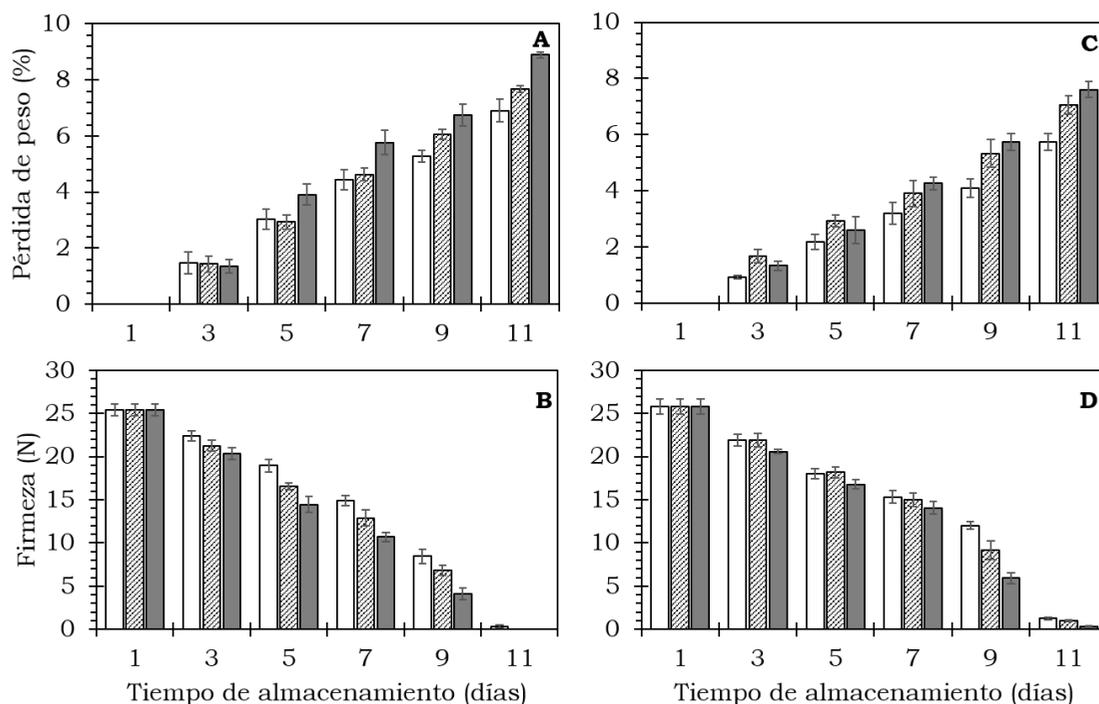


Figura 2. Comportamiento de firmeza y pérdida de peso en frutos de aguacate cv. Hass (A, B) y cv. Méndez (C, D) tratados con: 0 (□), 500 (▨) y 1000 (■) mg L⁻¹ de etefón y almacenados a 20 ± 2 °C. Medias ± DE, n = 5.

Tabla 1. Resultados del *p*-valor de los principales efectos e interacciones de la dosis de etefón y tiempo de almacenamiento en los análisis mediante la prueba de Kruskal-Wallis, en variables de calidad poscosecha para los cultivares de aguacate Hass y Méndez.

Cultivar	Efecto	Respiración (ml CO ₂ ·kg/h)	Etileno (µl C ₂ H ₄ , kg/h)	Pérdida de peso (%)	Firmeza (N)	Fenoles Totales (mg, AG·100/g)
Hass	Dosis	<0.0001	0.0897	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Día de almacenamiento	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Interacción	0.8941	0.1354	0.5259	0.9455	0.7795
Méndez	Dosis	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0021
	Día de almacenamiento	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Interacción	0.0489	<0.0001	0.1051	0.4933	0.5746

p-valor en negrita indica efecto significativo (*p* < 0.05, prueba X²).

Los frutos sin tratamiento (control) de ambos cultivares, mostraron una firmeza mayor respecto a los frutos tratados con etefón, lo que sugiere un mayor avance en la maduración de estos últimos (Figura 2). Luego de 11 días de tratamiento, en los frutos del cv. Hass ocurrió un avanzado deterioro por senescencia (Figura 2B). En el caso de cv. Méndez, la reducción de la firmeza después de 11 días de almacenamiento resultó mayor en los frutos tratados con 1000 mg/l de etefón con respecto al control (Figura 2D). La reducción de la firmeza en los frutos disminuye como resultado de los procesos fisiológicos característicos de la maduración. De acuerdo con Prasanna et al. (2007) y Pedreschi et al. (2019) esta disminución ocurre debido a cambios en el metabolismo de los componentes de la pared celular y a un incremento en la actividad de enzimas como pectilmetilesterasa, poligalacturonasa y pectato

liasa. En frutos de tomate tratados con etefón (500, 1000 y 1500 mg/l) también se registró disminución significativa de la firmeza (Dhall y Singh, 2013).

El color externo de los frutos de aguacate cambió significativamente (*P* < 0.05) (Tabla 2). Se observaron cambios en la disminución de la luminosidad (*L*^{*}) e índice de saturación (*C*^{*}), así como un incremento del ángulo de tono (*H*^{*}) durante el proceso de maduración luego de 11 días a 20 °C (Figura 3). Durante la etapa de maduración, el cambio en color (ΔE) aumentó de manera significativa (*P* ≤ 0.05) respecto al valor inicial (Figura 4); mientras que el IC disminuyó durante la maduración en ambos cultivares, siendo menor a los 11 días (*P* ≤ 0.05) (Figura 5, Tabla 2). El color es sin duda un indicador de maduración importante para el sector industrial

y consumidores; Henao-Rojas y Rodríguez, 2016, mencionan que el IC disminuye durante la maduración y que los descensos importantes del IC se correlacionan con una mayor velocidad del proceso de maduración. Cox et al (2004) encontraron durante la maduración cambios en el color del epicarpio en frutos de aguacate desde una tonalidad verde a violeta oscuro como resultado de la acumulación de cianidina-3-glucósido.

La concentración de fenoles totales en los frutos de ambos cultivares determinados al momento de la cosecha resultaron de 60 mg/100

g de AG pf y alrededor de 30-40 mg/100 g de AG pf en estado de madurez de consumo. Para el tratamiento con 1000 mg/l de etefón, en ambos cultivares la concentración de FT disminuyó ($P \leq 0.05$) durante el proceso de maduración a 20 °C (Figura 6, Tabla 1). Por su parte, en los frutos del cv. Hass, después de 11 días de almacenamiento, el contenido de FT disminuyó un 56.89 % en los tratados con 1000 mg/l, 51.03 % en los que se usó 500 mg/l y, en el control, la pérdida de FT resultó de 36.57 %. Por otro lado, el contenido de FT en la pulpa de frutos de aguacate cv. Méndez disminuyó un 49.12 % en los tratados con 1000 mg/l, 33.89 % en los tratados con 500

Tabla 2. Resultados del p -valor de los principales efectos e interacciones de la dosis de etefón y tiempo de almacenamiento en los análisis mediante la prueba de Kruskal-Wallis, en color externo para los cultivares de aguacate Hass y Méndez.

Cultivar	Efecto	Luminosidad (L*)	Índice de saturación (C*)	Ángulo de tono (H*)	Cambio de color (ΔE)	Índice de color (IC)
Hass	Dosis	0.0352	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Día de almacenamiento	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Interacción	0.8819	<0.0001	0.7845	0.7863	<0.0001
Méndez	Dosis	0.0010	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Día de almacenamiento	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Interacción	0.9703	0.1307	0.1748	0.1190	0.0015

p -valor en negrita indica efecto significativo ($p < 0.05$, prueba χ^2).

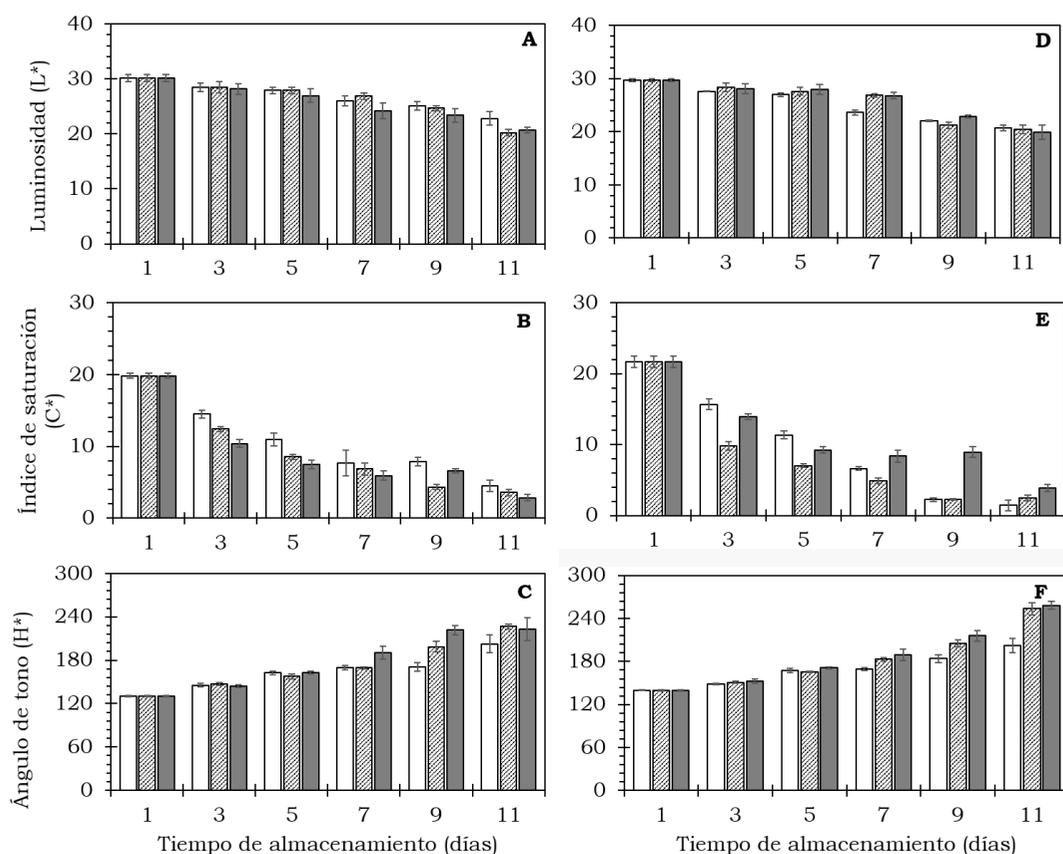


Figura 3. Comportamiento de los componentes del color en frutos de aguacate cv. Hass (A, B, C) y cv. Méndez (D, E, F) tratados con: 0 (□), 500 (■) y 1000 (■) mg L⁻¹ de etefón y almacenados a 20 ± 2 °C. Medias ± DE, n = 5.

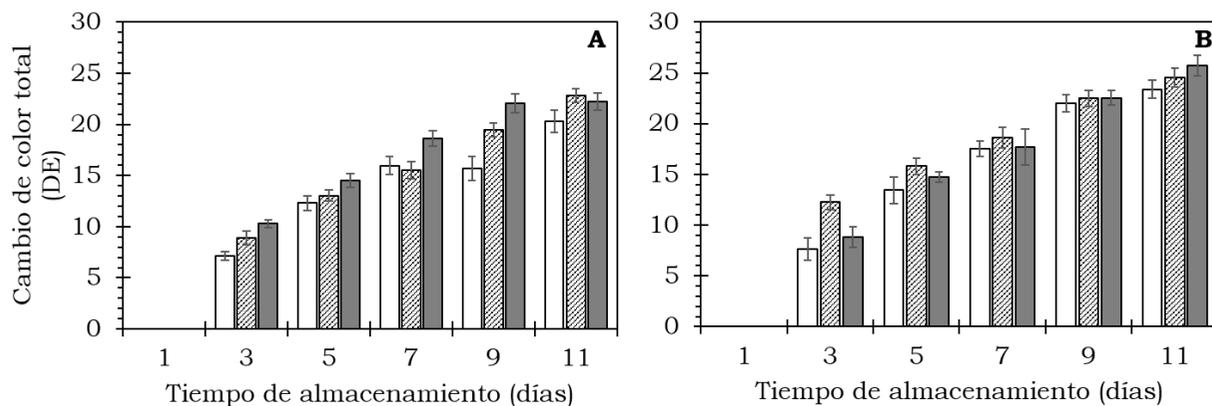


Figura 4. Cambio de color en frutos de aguacate cv. Hass (A) y cv. Méndez (B) tratados con: 0 (□), 500 (▨) y 1000 (■) mg L⁻¹ de etefón y almacenados a 20 ± 2 °C. Medias ± DE, n = 5.

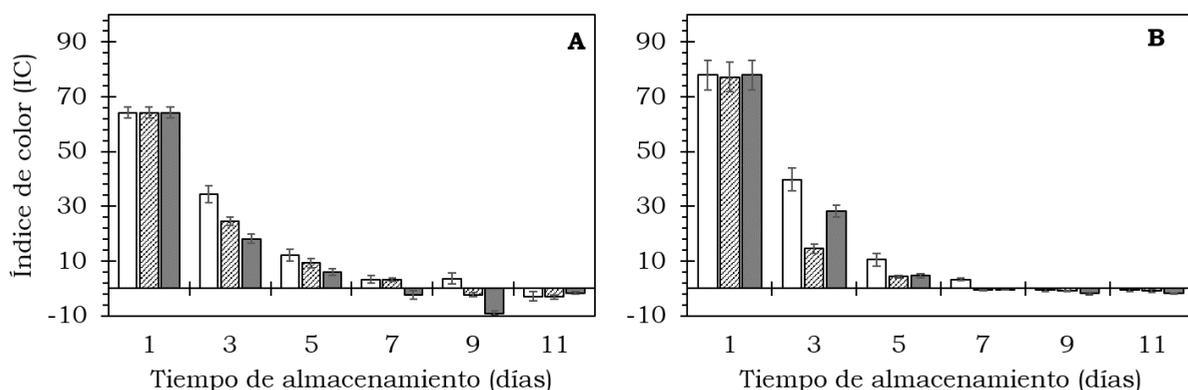


Figura 5. Índice de color en frutos de aguacate cv. Hass (A, B, C) y cv. Méndez (D, E, F) tratados con: 0 (□), 500 (▨) y 1000 (■) mg L⁻¹ de etefón y almacenados a 20 ± 2 °C. Medias ± DE, n = 5.

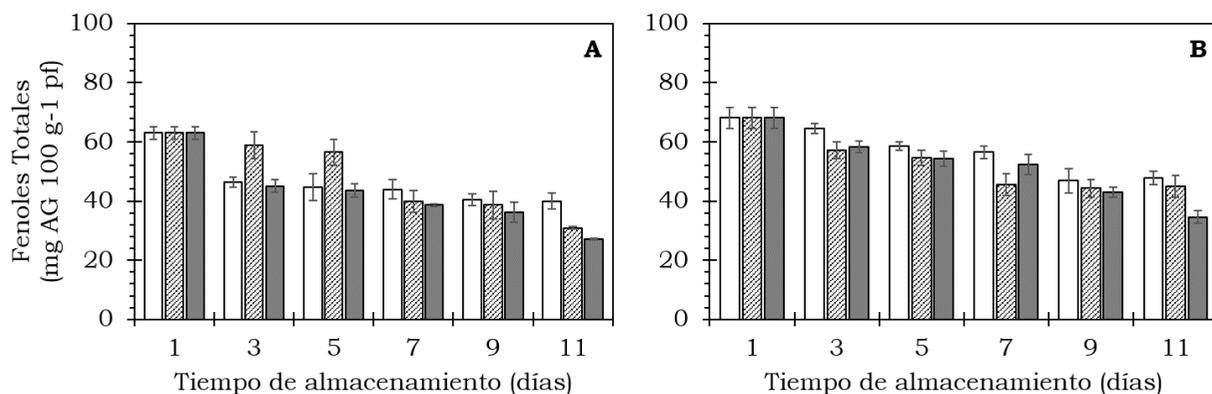


Figura 6. Cambio en el contenido de fenoles totales en frutos de aguacate cv. Hass (A) y cv. Méndez (B) tratados con: 0 (□), 500 (▨) y 1000 (■) mg L⁻¹ de etefón y almacenados a 20 ± 2 °C. Medias ± DE, n = 5

mg/l, mientras que en los frutos del control la pérdida de estos metabolitos fue de 29.85%. Villa-Rodríguez et al. (2011) reportaron un contenido de FT de 10 mg/100 g de AG pf en madurez fisiológica y 35 mg/100 g de AG pf en madurez de consumo. De acuerdo con Villa-Rodríguez et al. (2020) y Sousa et al. (2014) el contenido de compuestos fenolicos es significativamente

afectado por el clima, el cultivar, la técnica de producción, las condiciones de maduración y conservación, entre otros, por tanto el contenido de fenoles encontrado en este estudio puede ser parcialmente explicado por estos factores.

En los contenidos de clorofila se presentaron diferencias ($P \leq 0.05$) por efecto del cultivar y la dosis de etefón (Tabla 3). En ambos cultivares,

Tabla 3. Contenido de clorofila y carotenoides en la pulpa de aguacate cultivares Hass y Méndez en estado de madurez de consumo.

Cultivar	Dosis etefón (mg/l)	Clorofila a (µg/g)	Clorofila b (µg/g)	Clorofila total (µg/g)	Carotenoides totales (µg/g)
Hass	0	40.27±16.68 ab	16.62±3.04 ab	56.85±19.41 ab	17.60±1.61 d
	500	22.16±0.69 bc	7.59±0.55 c	29.76±0.98 c	21.28±1.12 cd
	1000	9.02±1.07 c	4.07±1.93 c	13.08±1.61 c	22.56±0.85 bc
Méndez	0	48.27±8.35 a	19.13±1.14 a	67.40±9.42 a	26.56±2.05 ab
	500	23.38±0.52 bc	12.51±1.16 b	35.90±1.33 bc	28.21±0.51 a
	1000	9.00±1.17 c	7.28±0.91 c	20.22±1.58 c	23.52±2.39 bc

Medias ± DE, n = 3. Valores con diferente letra dentro de la misma columna son estadísticamente distintos con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$.

en el tratamiento ocurrió el mayor contenido de clorofila total en estado de madurez de consumo. De igual forma, la concentración de carotenoides totales varió ($P \leq 0.05$) por efecto del cultivar y la dosis de etefón aplicada para inducir maduración; sin embargo, la pulpa de los frutos del cv. Méndez presentaron mayor contenido de carotenoides totales en comparación con el cv. Hass. Con el tratamiento 500 mg/l en el cv. Méndez ocurrió la mayor retención de este pigmento en el estado de madurez de consumo ($28.21 \pm 0.51 \mu\text{g/g}$). Asimismo, se observó que la dosis de etefón favoreció la presencia de carotenoides (Tabla 3). Asociado con los cambios en color de la pulpa de tonalidad verde-amarillo a amarillo durante la maduración, el menor contenido de clorofilas (a, b y total) y mayor concentración de carotenoides, resulta significativamente importante en cuanto a la tonalidad de la pulpa con fines de consumo en fresco y procesamiento (Vergara-Domínguez et al., 2016). Cox et al. (2004) y Ashton et al. (2006) encontraron una reducción en la concentración de clorofilas en frutos de aguacate cv. Hass por efecto del proceso de maduración, tal como ocurrió en el presente estudio (Tabla 3). Lu et al. (2009) encontraron diferencias en los contenidos de carotenoides en pulpa de aguacate cv. Hass en estado de madurez de consumo por efecto de condiciones de desarrollo y época de cosecha, con variaciones desde $5 \mu\text{g/g}$ hasta $40 \mu\text{g/g}$ en carotenoides totales. Los valores encontrados en el presente trabajo varían entre 17 y $28 \mu\text{g/g}$, lo cual permite asumir que el cultivar, el contenido de materia seca en cosecha y el manejo poscosecha también influyen en el contenido de estos pigmentos. Con respecto a estos pigmentos, el tratamiento con 500 mg/l favoreció una mayor acumulación que resulta importante por los beneficios que otorgan a la salud humana, por su capacidad antioxidante y la conservación de la funcionalidad de la pulpa de aguacate.

Conclusiones

El tratamiento con el liberador de etileno etefón en dosis de 1000 mg/l en frutos de aguacate cv. Hass y de 500 mg/l en frutos de cv. Méndez, almacenados a $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, adelanta el inicio de la

producción auto catalítica y, por tanto, reduce en 2 días el proceso de maduración, en comparación con frutos no tratados, manteniendo de manera aceptable y homogénea la firmeza y el color del epicarpio. El tratamiento del fruto de aguacate con etefón, a diferencia del tratamiento con gas etileno, resulta más económico al no requerir instalaciones complejas, lo que permite su aplicación para la maduración de bajos volúmenes de producto, tanto para agricultores como para comercializadores; asimismo conduce a la homogeneización en la maduración de los frutos de aguacate y a la aceleración de las pérdidas del contenido de clorofila e incrementó de carotenoides en la pulpa, lo que permite ofrecer un producto con calidad uniforme en cuanto a características organolépticas y funcionales, logrando mayor aceptación por parte de los consumidores.

Referencias

- Acacio-Chirino, N.J.; Zumalacárregui-de-Cárdenas, L. M.; Almera-Medina, J.C.; Barreno-Medina, D. M.; Betancourt-Betancourt, R. A.; Colina-Luchón, R. L.; Araujo-Blanco, J. A. 2013. Desarrollo de un procedimiento para la extracción de β -caroteno y glicerol a partir de la microalga *Dunaliella* sp. en la salina Las Cumaraguas. *Revista Cubana de Química*, 25 (2): 214-228. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543735009>
- Arpaia, M. L.; Collin, S.; Sievert, J.; Obenland, D. 2018. 'Hass' avocado quality as influenced by temperature and ethylene prior to and during final ripening. *Postharvest Biology and Technology*, 140, 76-84. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.02.015>
- Arpaia, M. L.; Defilippi, B.; Rivera, S. S.; Robledo, M. P. 2015. Procedimientos óptimos para la maduración forzada de paltas. In: B. B. Defilippi; R. Ferreyra; S. Rivera (Eds.), *Optimización de la calidad de palta 'Hass': herramientas para enfrentar nuevos desafíos* (pp. 1-83). La Cruz: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 307. <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR40136.pdf>
- Arshad, M.; Frankenberger, W. 2002. Ethylene in Agriculture: Synthetic and Natural Sources and Applications. In: M. Arshad; W. Frankenberger

- (Eds.), *Ethylene* (pp. 289-335). Springer, Boston, MA . https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0675-1_8
- Ashton, O. B. O.; Wong, M.; McGhie, T. K.; Vather, R.; Wang, Y.; Requejo-Jackman, C.;...Woolf, A. B. 2006. Pigments in Avocado Tissue and Oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(26), 10151-10158. <https://doi.org/10.1021/jf061809j>
- Blakey, R. J.; Tesfay, S. Z.; Mathaba, N.; Bertling, I.; Bower, J. P. 2012. Some initial changes in 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.) physiology due to ethephon. *International Journal of Postharvest Technology and Innovation*, 2(4), 334-344. <https://doi.org/10.1504/IJPTI.2012.050980>
- Bower, J. P.; Jackson, J. 2003. Effect of fruit coating and packaging on external and internal quality. *South African Grower's Association Yearbook*, 26, 15-19. http://www.avocadosource.com/Journals/SAAGA/SAAGA_2003/SAAGA_2003_TOC.htm
- Bower, J. P.; Papli, G. 2006. Effect of fruit coatings and packaging on chilling injury of 'Hass' avocados. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 29, 69-72. http://www.avocadosource.com/Journals/SAAGA/SAAGA_2006/SAAGA_2006_V29_TOC.htm
- Brunner, E.; Bathke, A. C.; Konietzschke, F. 2018. *Rank and Pseudo-Rank Procedures for Independent Observations in Factorial Designs, Using R and SAS*. Springer, Cham <https://doi.org/10.1007/978-3-030-02914-2>
- Cox, A. K.; McGhie, T. K.; White, A.; Woolf, A. B. 2004. Skin colour and pigment changes during ripening of 'Hass' avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 31, 287-294. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2003.09.008>
- Dhall, R. K.; Singh, P. 2013. Effect of ethephon and ethylene gas on ripening and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) during cold storage. *Journal of Nutrition y Food Sciences*, 3(6), 1-7. <https://www.longdom.org/open-access/effect-of-ethephon-and-ethylene-gas-on-ripening-and-quality-of-tomato-solanum-lycopersicum-l-during-cold-storage-2155-9600-1000244.pdf>
- Henaó-Rojas, J. C.; Rodríguez, P. E. 2016. Evaluación del color durante la maduración del aguacate (*Persea americana* Mill. cv. Hass). *Agronomía Colombiana Suplemento*, 1, S876-S879. https://www.researchgate.net/profile/Pablo-Rodriguez-86/publication/313819878_Evaluation_of_color_during_avocado-Persea_americana_Mill_cv_Hass_ripening/links/58a72c1a4585150402f29d23/Evaluation-of-color-during-avocado-Persea-americana-Mill-cv-Hass-ripening.pdf
- Hernández, I.; Fuentealba, C.; Olaeta, J. A.; Lurie, S.; Defilippi, B.; Campos-Vargas, R.; Pedreschi, R. 2016. Factors associated with postharvest ripening heterogeneity of Hass avocados (*Persea americana* Mill.). *Fruits*, 71 (5), 259-268. <https://www.pubhort.org/members/showdocument?saries=fruits&pdffile=-bs-actahort-bs-fruits-bs-pdf-bs-2016-bs-5-bs-fruits160045.&action=s>
- [howdocument&lidvan=ishs&yearfruits=2016&volume=71&issue=5&edpsref=fruits160045](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0675-1_8)
- Hu, Y.; Vandebussche, F.; Van Der Straeten, D. 2017. Regulation of seedling growth by ethylene and the ethylene-auxin crosstalk. *Planta*, 245, 467-489. <https://doi.org/10.1007/s00425-017-2651-6>
- Iqbal, N.; Khan, N. A.; Ferrante, A.; Trivellini, A.; Francini, A.; Khan, M. I. R. 2017. Ethylene role in plant growth, development and senescence: Interaction with other phytohormones. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1-19. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00475>
- Lallum, N.; Punter, M.; Haynes, G.; Pidakala, P.; Burdon, J. 2004. Role of water loss in ripening of 'Hass' avocados. *New Zealand Avocado Growers Association Annual Research Report*, 4, 70-79.
- Liu, M.; Chervin, C. 2017. *Ethylene and fruit ripening*. In: *Reference Module in Food Science* (pp. 1-9). Elsevier <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21256-0>
- Lu, Q. Y.; Zhang, Y.; Wang, Y.; Wang, D.; Lee, R.; Gao, K.;...Heber, D. 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. <https://doi.org/10.1021/jf901839h>
- Martin, L. B.; Rose, J. K. 2014. There's more than one way to skin a fruit: Formation and functions of fruit cuticles. *Journal of Experimental Botany*, 65 (16), 4639-4651. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru301>
- Medina-Torres, R.; Jaime-Ruiz, Y. V.; Ibarra-Estrada, M. E.; Salazar-García, S. 2017. Contenido de aceite en frutos de selecciones de aguacate (*Persea americana*) criollo de clima tropical y subtropical de Nayarit, México. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología*, 8(1), 1-13. <https://www.researchgate.net/publication/319873905>
- Pedreschi, R.; Muñoz, P.; Robledo, P.; Becerra, C.; Defilippi, B. G.; Eekelen, H.;...Vos R. C. H. 2014. Metabolomics analysis of postharvest ripening heterogeneity of 'Hass' avocados. *Postharvest Biology and Technology*, 92, 172-179. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.01.024>
- Pedreschi, R.; Uarrota, V.; Fuentealba, C.; Alvaro, J. E.; Olmedo, P.; Defilippi, B. G.;...Campos-Vargas, R. 2019. Primary Metabolism in avocado fruit. *Frontiers in Plant Science*, 10, 795. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00795>
- Pío-León, J. F.; Díaz-Camacho, S. P.; Montes-Avila, J.; López-Angulo, G.; Delgado-Vargas, F. 2012. Nutritional and nutraceutical characteristics of white and red *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth fruits. *Fruits*, 68(5), 397-408. <https://doi.org/10.1051/fruits/2013084>
- Pokhrel, P. 2013. Use of Higher Ethylene Generating Fruits for Ripening as an Alternative to Ethylene. *Journal of Food Science and Technology Nepal*, 8, 84-86. <https://doi.org/10.3126/jfstn.v8i0.11757>

- Pompelli, M. F.; França, S. C.; Tigre, R. C.; Teixeira, M.; Sacilot, M.; Pereira, E. C. 2013. Spectrophotometric determinations of chloroplastidic pigments in acetone, ethanol and dimethylsulphoxide. *Revista Brasileira de Biociências*, 11(1), 52-58. <https://www.researchgate.net/publication/236168133>
- Prasanna, V.; Prabha, T. N.; Tharanthan, R. N. 2007. Fruit Ripening Phenomena-An Overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47, 1-19. <https://doi.org/10.1080/10408390600976841>
- Saltveit, M. E. 2019. Respiratory Metabolism. In: Yahia, E. M.; Carrillo-López, A. (Eds.), *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables* (pp. 73-91). United Kingdom: Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00004-X>
- Sañudo-Barajas, J. A.; Siller-Cepeda, J.; Osuna-Enciso, T.; Muy-Rangel, D.; López-Álvarez, G.; Lavavitch, J. 2008. Control de la maduración en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) con 1-metilciclopropeno y ácido 2-cloroetil fosfónico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(2), 141-147. <https://www.redalyc.org/pdf/610/61031207.pdf>
- Sousa, A.; Malheiro, R.; Casal, S.; Bento, A.; Pereira, J. A. 2014. Antioxidant activity and phenolic composition of Cv. Cobrançosa olives affected through the maturation process. *Journal of Functional Foods*, 11, 20-29. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.08.024>
- Tovar, B.; Montalvo, E.; Damián, B. M.; García, H. S.; Mata, M. 2011. Application of vacuum and exogenous ethylene on Ataulfo mango ripening. *LWT-Food Science and Technology*, 44, 2040-2046. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.06.005>
- Vergara-Domínguez, H.; Ríos, J. J.; Gandul-Rojas, B.; Roca, M. 2016. Chlorophyll catabolism in olive fruits (Var. Arbequina and Hojiblanca) during maturation. *Food Chemistry*, 212, 604-611. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.020>
- Villa-Rodríguez, J. A.; Molina-Corral, F. J.; Ayala-Zavala, J. F.; Olivas, G. I.; González-Aguilar, G. A. 2011. Effect of maturity stage on the content of fatty acids and antioxidant activity of 'Hass' avocado. *Food Research International*, 44, 1231-1237. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.012>
- Villa-Rodríguez, J. A.; Yahia, E. M.; González-León, A.; Ifie, I.; Robles-Zepeda, R. E.; Domínguez-Avila, J. A.; González-Aguilar, G. A. 2020. Ripening of 'Hass' avocado mesocarp alters its phytochemical profile and the in vitro cytotoxic activity of its methanolic extracts. *South African Journal of Botany*, 128, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.09.020>
- Wei, H.; Seidi, F.; Zhang, T.; Jin, Y.; Xiao, H. 2020. Ethylene scavengers for the preservation of fruits and vegetables: A review. *Food Chemistry*, 337, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127750>
- Wrolstad, R. E.; Smith, D. E. 2017. *Color Analysis*. In: S.S. Nielsen (Ed.), *Food Analysis* (pp. 545-555). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5_31