

Calidad y vida de anaquel de tres estados fisiológicos de frutos de aguacate variedad Lonjas

Guillermina Areli Tochihuitl-Martiñón¹
Crescenciano Saucedo-Veloz^{1§}
Alfredo López-Jiménez¹
Sergio Humberto Chávez-Franco¹
Gregorio Arellano-Ostoa¹
Diana Guerra-Ramírez²

¹Fruticultura-Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56230. Tel. 595 9520233. (tochi_areli@hotmail.com; lopezja@colpos.mx; arellano@colpos.mx; sergiocf@colpos.mx). ²Laboratorio de Productos Naturales-Área de Química-Departamento de Preparatoria Agrícola-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56230. (dg_bonita33@yahoo.com.mx).

§Autor para correspondencia: saueloz@colpos.mx.

Resumen

Los frutos nativos de *Persea americana* Mill. var. *Drymifolia* generalmente se consumen y comercializan localmente, sus atributos de calidad y estado fisiológico de cosecha recomendable han sido poco estudiados. El objetivo de esta investigación fue evaluar parámetros de calidad como firmeza, pérdida de peso y color de frutos de aguacate ‘Lonjas’ cosechados en tres estados fisiológicos de madurez (verde, cambiante y negro) para comparar cuál de ellos conserva los mejores parámetros al llegar a la madurez de consumo. Los frutos se cosecharon en Tacámbaro, Michoacán en el año 2019, las variables evaluadas al día siguiente de la cosecha fueron: longitud, diámetro, grosor del epicarpio, peso del epicarpio, mesocarpio y semilla, los frutos se almacenaron a 22 ± 2 °C, se evaluaron cada dos días la pérdida de peso, firmeza y color del fruto hasta madurez de consumo. Por otro lado, se evaluó el efecto de refrigeración (13 ± 2 °C) de frutos en estado cambiante. Frutos en estado fisiológico cambiante presentaron mayor dimensión, así como contenido de pulpa y semilla. De los frutos almacenados a 22 ± 2 °C, el estado fisiológico verde tuvo menor pérdida de peso. Sin embargo, al llegar a la madurez de consumo los tres estados fisiológicos presentaron valores semejantes de firmeza y color del epicarpio. En el estado fisiológico cambiante sobresalieron los valores relacionados al color del mesocarpio. El momento de cosecha está en función del parámetro de calidad del que se tenga mayor interés. La refrigeración es recomendable para alargar la vida de anaquel.

Palabras clave: *Persea americana* Mill. var. *Drymifolia*, estado fisiológico, maduración.

Recibido: marzo de 2023

Aceptado: mayo de 2023

Introducción

México es centro de origen de *Persea americana* Mill., posee una reserva abundante de recursos fitogenéticos de aguacate (López *et al.*, 2012). Localizados principalmente, desde la parte central de México hasta Centroamérica (Álvarez *et al.*, 2018). De acuerdo con datos del SIAP, los materiales clasificados como criollos tienen presencia en 21 estados, siendo los cinco principales estados: Nayarit, Yucatán, Puebla, Morelos y Guerrero (SIAP, 2023). Los frutos de *Persea americana* var. *Drymifolia* pueden encontrarse en forma elipsoide, obovoide o piriforme (Acosta *et al.*, 2013), se han consumido de manera ancestral, son parte de la cultura y el conocimiento etnobotánico de los pueblos mexicanos (Corrales y Méndez, 2020).

Los aguacates nativos se emplean principalmente como portainjerto de aguacate ‘Hass’, son fuente de genes de resistencia a plagas y patógenos, para éste y otros cultivares, de acuerdo con Rincón *et al.* (2011), lo cual permite tener bajos costos de producción de planta; sin embargo, genera una amplia variación genética, fenológica, productiva y de adaptación (Herrera *et al.*, 2013). El aguacate nativo mexicano se está sustituyendo por cultivares comerciales o perdiendo por la destrucción de los ecosistemas (Rincón *et al.*, 2011).

En el municipio de Tacámbaro, Michoacán, existe una alta variabilidad genética natural de aguacate nativo; sin embargo, es escasa la evaluación de genotipos silvestres y selecciones prometedoras, así como de sus características organolépticas y bioquímicas. Algunas investigaciones refieren que de los frutos de aguacates nativos, considerados sobresalientes por su tamaño, color, sabor y producción se encuentran: ‘Lonjas’, ‘Vargas’, ‘Zarcoli’, ‘Zarcolín’ y ‘Rodo’ (Roldán *et al.*, 1999), de ellos, ‘Vargas’, ‘Rodo’ y ‘Lonjas’ han podido producirse y mantenerse en el gusto de los mexicanos, aunque no tienen la importancia que ha llegado a tener el aguacate ‘Hass’ (Barragán, 1999), ya que la relevancia de los aguacates nativos como alimento ha sido subestimada (Ramos *et al.*, 2021). Respecto al aguacate nativo ‘Lonjas’ (Reyes *et al.*, 2009), describen sus características como un árbol de hábito abierto, vigor intermedio; las hojas jóvenes tienen un olor a anís y, tiene tonalidad roja al inicio de su crecimiento.

Se considera un aguacate nativo de uso común, cuyo potencial es el consumo en fresco, los frutos de color negro a la madurez miden alrededor de 13 cm de longitud y 6 cm de diámetro, además de tener piel (epicarpio) delgada. Es necesario difundir el potencial hortícola, nutracéutico y agroindustrial de los aguacates nativos entre productores, vendedores y consumidores, con el propósito de valorarlos y conservarlos (Corrales y Méndez, 2020). En esta investigación se evaluaron parámetros de calidad como firmeza, pérdida de peso y color de frutos del aguacate variedad Lonjas, cosechados en tres estados fisiológicos de madurez (verde, cambiante y negro) para comparar cuál conserva los mejores parámetros de calidad al llegar a la madurez de consumo.

Materiales y métodos

Los frutos de aguacate ‘Lonjas’, variedad local, fueron cosechados el 10 de julio de 2019, de árboles con una edad de 25 años, en un huerto con manejo convencional en el municipio de Tacámbaro, Michoacán, en tres estados fisiológicos de madurez: verde (el fruto mostraba en su superficie 75% de coloración verde), cambiante (el fruto presentó coloración negra en 60-75% de la superficie) y negro (cuando se alcanzó 100% de esta coloración en su superficie). La investigación se realizó en el laboratorio de postcosecha del Colegio de Postgraduados. Los frutos se almacenaron a temperatura ambiente y humedad relativa de 22 ± 2 °C y 60 ± 5 %, respectivamente.

Las evaluaciones se realizaron cada dos días, hasta que cada estado fisiológico alcanzó la madurez de consumo (día 4). Debido a los escasos frutos, solamente a los frutos que presentaron un estado fisiológico cambiante se les evaluó bajo tratamiento de refrigeración (13 °C) durante 9 días, posteriormente se almacenaron a 22 ± 2 °C y se realizaron evaluaciones a la salida del tratamiento en frío y dos días después a temperatura de 22 ± 2 °C.

Variables respuesta

Para cada estado fisiológico se evaluaron seis frutos, en tres unidades experimentales (dos frutos por unidad experimental) y se hicieron las siguientes mediciones: porcentaje de materia seca (% MS), longitud (cm), diámetro (cm), grosor del epicarpio (mm), peso del epicarpio (g), del mesocarpio (g), de la semilla (g) y relación de mesocarpio-semilla (%).

Pérdida de peso

El peso de los frutos se registró con una balanza digital ALSEP EY-2200, hasta que los frutos alcanzaron la madurez de consumo. El porcentaje de pérdida de peso se calculó de acuerdo con la ecuación 1. Porcentaje de pérdida de peso = $\frac{\text{Peso inicial} - \text{peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$ (1).

Firmeza

Se determinó, con un texturómetro (Wagner Force Five modelo FDV30) con puntal cónico de 7 mm de diámetro, las medidas se realizaron cada dos días. Los valores se reportaron en Newton (N).

Color del fruto

En el epicarpio y mesocarpio se determinó el cambio de color, 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 ángulo de tono o °Hue (ecuación 2) y chroma (ecuación 3), cada dos días hasta que los frutos alcanzaron la madurez de consumo (Lancaster *et al.*, 1997). Hue = $\tan^{-1} \frac{b}{a}$ (2). Chroma = $\sqrt{a^2 + b^2}$ (3).

Vida de anaquel

La vida de anaquel se estableció considerando el número de días en el que los frutos de cada estado fisiológico alcanzaron la madurez de consumo, sin presentar daños físicos o de contaminación por microorganismos.

Concentración de etileno y CO₂

Estas variables sólo se determinaron en los frutos en el estado fisiológico cambiante, las evaluaciones se hicieron diariamente por medio de un cromatógrafo de gases (Perkin Elmer Clarus) de acuerdo con el método del espacio de cabeza Tovar *et al.* (2011), se tomó una muestra al azar de 6 frutos, con los cuales se establecieron tres unidades experimentales (repeticiones) de dos frutos cada una, que fueron colocados en recipientes de 2 L cerrados herméticamente durante 1 h.

Se tomó una muestra de 1 ml del gas del espacio de cabeza y se inyectó a un cromatógrafo de gases (Perkin Elmer Clarus), con una columna TG-Bond Q 30 m x 0.32 mm x 10 μ de Thermo Fisher Scientific, que fue conectada 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 CO₂ con 498.6 μ l mol⁻¹ y de etileno con 100 μ l mo⁻¹, ambos de INFRA[®]. Los datos de respiración se reportaron como ml de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y la concentración de etileno en μ l C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹.

Diseño experimental

Para el análisis de datos en frutos almacenados a 22 °C se consideraron tres repeticiones (dos frutos como unidad experimental) y se aplicó el modelo de parcelas divididas, la evaluación de los estados fisiológicos corresponde a la parcela grande y los días de evaluación a la parcela chica, se realizó un análisis de varianza y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Se utilizó el programa estadístico SAS[®] System Version 9 for Microsoft[®] Windows[®].

Resultados y discusión

Los frutos de aguacate ‘Lonjas’ se cosecharon con un porcentaje de materia seca que varió según el estado fisiológico (21.2% Verde, 21.7% Cambiante y 24.3% negro), esto en apego a la norma NMX-FF-016-SCFI-2016, donde se indica que 21% de MS es el mínimo aceptable para la autorización de corte y proceso (Cuadro 1). De acuerdo con Corrales y Méndez (2020) los frutos de aguacate se clasifican botánicamente como bayas. Las principales características físicas que hacen atractivo a un cultivar de aguacate ante los consumidores son el tamaño y la forma del fruto, generalmente se prefieren frutos de tamaño medio y apariencia piriforme u ovoide (López *et al.*, 2012), los frutos de aguacate ‘Lonjas’ midieron de 11.1 a 12.2 cm de longitud y de 5.4 a 6.2 cm de diámetro (prueba de Tukey, $p \leq 0.05$).

Cuadro 1. Características físicas de frutos de aguacate ‘Lonjas’ en tres estados fisiológicos de madurez (verde, cambiante, negro).

Característica	Estadio fisiológico de madurez		
	Verde	Cambiante	Negro
Materia Seca (%)	21.2 \pm 0.6 b	21.7 \pm 0.5 b	24.3 \pm 1.4 a
Longitud (cm)	11.4 \pm 0.7 b	12.2 \pm 0.4 a	11.1 \pm 0.5 b
Diámetro (cm)	5.6 \pm 0.2 b	6.2 \pm 0.3 a	5.4 \pm 0.2 b
Grosor del epicarpio (mm)	0.23 \pm 0.1 b	0.27 \pm 0.1 ab	0.3 \pm 0 a
Peso de epicarpio (g)	5.8 \pm 0.5 c	8.9 \pm 1.3 b	11.3 \pm 0.9 a
Peso de mesocarpio (g)	132.8 \pm 7.9 b	155.2 \pm 12.3 a	118.9 \pm 17.1 c
Peso de semilla (g)	41 \pm 2.1 b	49.1 \pm 4.1 a	40.3 \pm 7.8 b
Mesocarpio-semilla (%)	76.4 - 23.6 a	76 - 24 a	74.7 - 25.3 a

Valores con diferente letra en una fila son estadísticamente diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$).

En el estado cambiante (Cuadro 1), se presentaron los frutos más grandes: 12.2 cm de longitud y 6.2 cm de diámetro, referente a estas evaluaciones (Acosta *et al.*, 2013) reportaron en aguacates identificados como ‘Anita’ y ‘Salazareño’ valores de 10.9 y 10 cm en dimensiones polares,

mientras que para dimensiones ecuatoriales 3.5 y 3.8 cm respectivamente. Los frutos de aguacates nativos tienen un gran potencial por sus cualidades nutraceuticas y agroindustriales (Corrales y Méndez, 2020), podrían ser aprovechadas por productores, industrias alimenticias y farmacéuticas para diferentes usos, de los cuales no se ha reportado suficiente información.

Es sabido que los frutos de variedades locales se comercializan y consumen más de manera local, en este aspecto, el consumo de los frutos se puede dar no sólo de la pulpa, sino también de la cáscara (epicarpio), debido a que la cáscara no compromete sus propiedades organolépticas, por el contrario, en algunos casos favorece el sabor, a diferencia del aguacate ‘Hass’ que tiene cáscara mucho más gruesa, la cual no se consume (Ramos *et al.*, 2021).

Con respecto a las características del epicarpio, de los frutos de aguacate ‘Lonjas’, los resultados mostraron un grosor de epicarpio en estado fisiológico verde de 0.23 mm, en cambiante 0.27 mm y negro 0.3 mm (Cuadro 1). En comparación, con los frutos de aguacate identificados como ‘CA-1’ por Ramos *et al.* (2021), el epicarpio fue excepcionalmente delgado y similar al de las cáscaras de uva, de 0.24 - 0.33 mm.

En los frutos de aguacate ‘Lonjas’ (Cuadro 1) hubo diferencia significativa entre los tres estados fisiológicos, el mayor peso del epicarpio se presentó en el estado fisiológico negro (11.3 g) y del mesocarpio (155.2 g) en el estado cambiante, para el caso del peso de semilla, el estado cambiante obtuvo el valor más alto (49.1 g), presentando diferencia significativa respecto a verde y negro, comparado con otros resultados, el peso de epicarpio fue similar a ‘Temax-1’ (10.9 g), de pulpa a ‘Jalea 10’ (134.2 g) y ‘Plat-16’ (141.4 g), mientras que para el caso de la semilla a los identificados como ‘Jalea 9’, ‘Temax-3’, ‘Jalea 10’ y ‘Temax 5’ reportados por Damián *et al.* (2017), por otra parte, Acosta *et al.* (2013) obtuvieron valores de 156.9 g de mesocarpio en frutos de aguacate identificado como ‘Anita’ y 45.5 g de semilla en frutos de aguacate ‘Santos’ (similar a ‘Lonjas’ en estado negro).

De acuerdo con Ramos *et al.* (2021), el peso de las partes del fruto siguió el orden de: pulpa>semilla>cáscara. Con lo que respecta a la relación de mesocarpio-semilla (Cuadro 1), no se observó diferencia estadística significativa, sin embargo, los frutos en estado verde presentaron mayor contenido de pulpa (76.4-23.6%), seguido de cambiante (76-24%) y negro (74.7-25.3%). La maduración se define como el conjunto de cambios externos, de sabor y textura que un fruto experimenta cuando completa su crecimiento. Esta fase incluye procesos como la coloración del pericarpio, incremento de la concentración de azúcares, pérdida de firmeza, junto a otros cambios físicos y químicos. El proceso de la maduración varía según los frutos (Azcón y Talón, 2013).

Pérdida de peso

Autores como Magaña *et al.* (2013) mencionan que la pérdida de peso de las frutas está asociada a la pérdida de agua, cuando las frutas son cosechadas y expuestas a temperatura ambiente por varios días, dicha pérdida también puede depender de las características intrínsecas y extrínsecas del producto; lo cual, podría estar relacionado con el déficit de presión de vapor entre su superficie y la atmósfera en que se encuentran. La pérdida de peso de la fruta durante las etapas iniciales de maduración influye en el tiempo de maduración, incidencia y severidad de las pudriciones maduras (Dixon *et al.*, 2022).

De los tres estados fisiológicos evaluados, los frutos en estado fisiológico negro (Figura 1), presentaron mayor porcentaje de pérdida de peso (8.1%) al llegar a la madurez de consumo (día 4), mientras que Herrera *et al.* (2017) reportaron pérdidas de peso de 8.3% para aguacates ‘Hass’ y 6.6% para el cv. Méndez almacenados a temperatura ambiente.

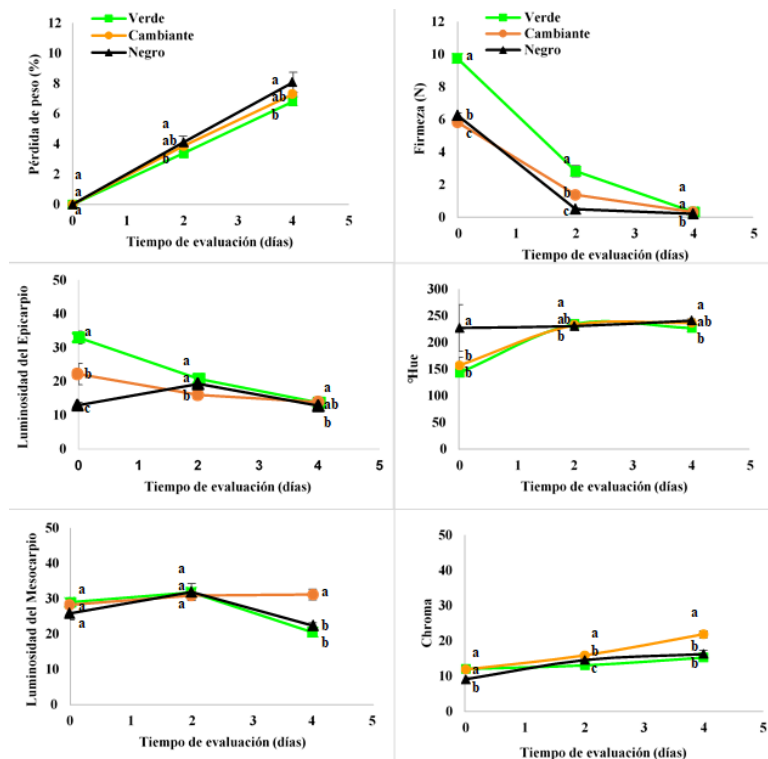


Figura 1. Variables de calidad durante la maduración de frutos de aguacate ‘Lonjas’ cosechados en tres estados fisiológicos (verde, cambiante y negro). Valores con diferente letra en cada día de evaluación (0, 2 y 4) son estadísticamente diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$).

Firmeza

Una predicción adecuada de firmeza en los frutos de aguacate es importante, ya que, proporciona acceso indirecto a los niveles de madurez, calidad de la fruta y probable tiempo de almacenamiento, los frutos se cosechan verdes y duros al tacto; sin embargo, se van ablandando. La tasa de ablandamiento es moderada al principio, aumenta más tarde y se detiene en la madurez (Mishra *et al.*, 2021).

Como era de esperarse, la firmeza fue disminuyendo (Figura 1) al transcurrir el tiempo y en medida de que el fruto iba madurando, el estado verde presentó la mayor firmeza (9.6 N) en el día 0 de su evaluación, seguido del estado fisiológico negro y cambiante (6.3, 5.9 N); sin embargo, en el día 4, los frutos en estado verde y cambiante presentaron valores ligeramente más altos que negro (0.32 N), Ramos *et al.* (2021) reportaron valores de firmeza por debajo de 5 N (1.3-2.7 N) en frutos identificados como ‘CA-1’ y ‘CA-4’ pero más altos que los presentados en los frutos de aguacate ‘Lonjas’, este atributo de calidad se ha reportado muy poco en materiales nativos.

Color del fruto

Cuando L^* y $^{\circ}\text{Hue}$ disminuyen de manera notable, disminuye la coloración verde y la piel vira a negro; entonces, la maduración ocurre de manera regular y los frutos alcanzan la madurez de consumo. En frutos de aguacate ‘Méndez’ y ‘Hass’ los frutos alcanzaron la madurez de consumo entre 8 y 12 días después de la cosecha (Herrera *et al.*, 2017).

En los frutos de aguacate ‘Lonjas’ la luminosidad del epicarpio en el día 4 (madurez de consumo) presentó los valores más bajos (Figura 1) respecto a los días 0 y 2, para el estado fisiológico verde se reportó un valor de 13.7, cambiante 13.9 y negro 12.8, del mismo modo, valores de 26.9 y 29.7 en L para color externo fueron reportados en frutos identificados como ‘CA-1’ y ‘CA3’ en frutos almacenados a 25 °C (Ramos *et al.*, 2021).

La cáscara de los frutos de aguacates nativos, generalmente presentan colores con tonalidades que van de la púrpura al oscuro por la presencia de antocianinas, pigmentos con alta actividad antioxidante (Ramos *et al.*, 2021). En evaluaciones de Hue (ángulo de matiz), el cual externamente nos indica la coloración oscura, se presentaron valores más altos en el estado cambiante y negro (236.9, 241.3) de frutos ‘Lonjas’.

La pulpa tiene una consistencia muy característica de los frutos del aguacate, similar a la mantequilla por su alto contenido en lípidos (hasta 23% del peso total de la pulpa) y el color presenta tonos amarillentos en el centro y verdosos en la parte exterior (Corrales y Méndez, 2020). La luminosidad de la pulpa se encontró en los rangos de 20 a 30, obteniendo los mayores valores en el día 2, para el caso de los estados fisiológicos verde y negro (31.8 y 31.9), Ramos *et al.* (2021) reportaron valores de L en pulpa entre 55 y 61.72 para frutos nativos; para el caso de chroma en aguacate ‘Lonjas’, los valores fueron incrementando hasta llegar al cuarto día, siendo el estado fisiológico cambiante quien presento el mayor valor en el día 4 (21.9).

Considerando que el día 4 es cuando los frutos alcanzaron la madurez de consumo, se puede observar (Figura 1), que el parámetro de firmeza el estado verde (0.32 N) es significativamente diferente de negro (0.22 N), en % de pérdida de peso el estado negro (8.1%) es significativamente diferente del estado verde (6.83%), en luminosidad del epicarpio el estado cambiante (13.9) es significativamente diferente de negro (12.8), en Hue el estado negro (236.9 Hue) es significativamente diferente de verde (227.1 Hue), mientras que para chroma, cambiante (21.9) es significativamente diferente de verde y negro (15.3 y 16.3).

Los resultados del Cuadro 2 muestran cómo influyen en la vida de anaquel los frutos en diferentes estados fisiológicos, presentándose menores pérdidas de peso en el estado fisiológico verde y mayores valores de luminosidad del mesocarpio y de chroma en el estado fisiológico negro.

Cuadro 2. Variables de calidad por estado fisiológico en frutos de aguacate ‘Lonjas’ a los cero, dos y cuatro días de cosecha.

Estado Fisiológico	Día	Firmeza (N)	Pérdida de Peso (%)	Epicarpio (L)	Epicarpio ($^{\circ}\text{Hue}$)	Mesocarpio (L)	Mesocarpio (Chroma)
Verde	0	9.7a	0 c	33 a	142.9 b	28.9 b	12.1 b
	2	2.8 b	3.3 b	20.7 b	227.1 a	31.8 a	13 b
	4	0.3 c	6.8 a	13.7 c	235.1 a	20.4 c	15.3 a

Estado Fisiológico	Día	Firmeza (N)	Pérdida de Peso (%)	Epicarpio (L)	Epicarpio (°Hue)	Mesocarpio (L)	Mesocarpio (Chroma)
Cambiante	0	5.8 a	0 c	22.2 a	156.8 b	28.3 b	11.8 c
	2	1.3 b	3.8 b	16 b	233.1 a	30.9 a	15.9 b
	4	0.3 c	7.3 a	13.9 b	236.9 a	31.2 a	21.9 a
Negro	0	6.2 a	0 c	13 b	227.2 a	25.9 b	9.1 b
	2	0.5 b	4.1 b	19.3 a	230.8 a	31.8 a	14.6 a
	4	0.2 c	8.1 a	12.8 b	241.3 a	22.4 b	16.4 a

Valores por columna con diferente letra en cada estado fisiológico: verde, cambiante y negro, son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Etileno y CO₂ en frutos con estado fisiológico cambiante

En frutos climatéricos como el aguacate, la respiración aumenta de forma muy rápida, coincidiendo con los incrementos en la producción de etileno, lo cual, estimula la maduración y desarrollo de características organolépticas (Azcón y Talón, 2013). La mayor concentración de etileno en frutos almacenados a 22 °C (Figura 2) se presentó el día 2 y 3 (87.8, 92.8 $\mu\text{l C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$), mientras que para el caso de CO₂ en el día 3 (84.4, ml de CO₂ $\text{kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$).

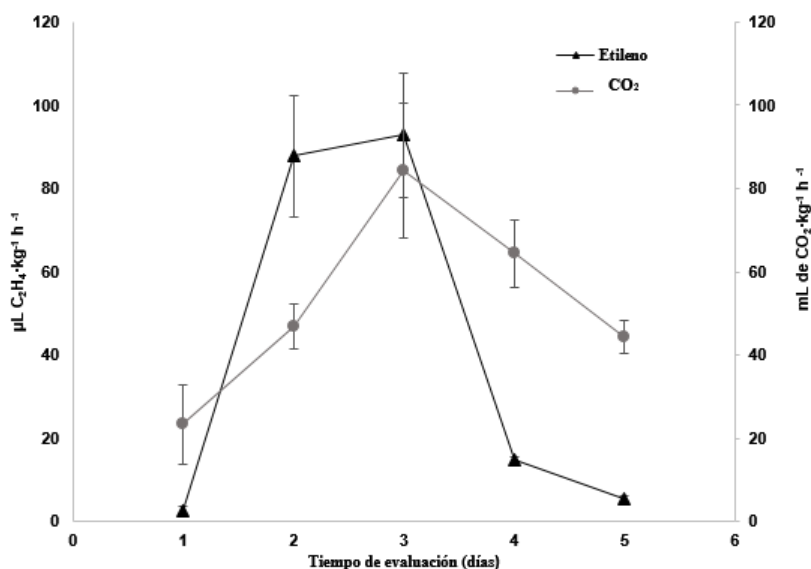


Figura 2. Intensidad respiratoria y producción de etileno en frutos de aguacate ‘Lonjas’ en estado fisiológico cambiante, almacenado a 22 ± 2 °C.

Hasta el momento no existen reportes en cuanto a los cambios de concentración de etileno y CO₂ a lo largo de la maduración en materiales nativos; sin embargo, en aguacates ‘Hass’ y ‘Méndez’ evaluados por Herrera *et al.* (2017), almacenados a temperatura ambiente, el climaterio se alcanzó de 7 a 8 d después de la cosecha (frutos cosechados con mayor materia seca presentaron mayor producción de etileno y mayor velocidad de respiración), obteniendo valores de 10-100 $\mu\text{l C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ y 10-50 ml de CO₂ $\text{kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ en relación al contenido de materia seca.

Vida de anaquel

Los frutos de aguacate ‘Lonjas’ en estado: verde, cambiante y negro tuvieron una vida de anaquel de cuatro días. Por otra parte, debido al tratamiento de refrigeración empleado en frutos ‘Lonjas’ en estado fisiológico cambiante, los frutos alcanzaron una vida de anaquel de hasta 11 días; ya que los frutos se almacenaron nueve días a 13 °C, posteriormente se almacenaron a 22 °C y alcanzaron la madurez de consumo a dos días. Estos resultados coinciden con los reportados por Acosta *et al.* (2013), quienes mencionan que la vida de anaquel de frutos de aguacates nativos varía de 10.3 a 11 días y que también se pueden encontrar valores bajos que van de 4 a 6.3 días.

Calidad de frutos almacenados a 13 °C

La temperatura de almacenamiento en aguacate Hass tiene mayor influencia en la pérdida de peso y firmeza (Benítez *et al.*, 2021), así como el vire de color (Osuna *et al.*, 2017). A mayor temperatura de maduración, el tiempo para alcanzar la madurez de consumo es menor. A temperatura de almacenamiento de 6 °C, se mantiene el color y firmeza a niveles aceptables, sin daño externo y con cinco días de vida de anaquel después del almacenamiento (Osuna *et al.*, 2017). A 7 °C durante 20 días combinado con la maduración a 20 °C por seis días se obtienen frutos con maduración homogénea, menor cantidad de daños internos y pérdida de peso aceptable (Benítez *et al.*, 2021).

Los frutos de aguacate ‘Lonjas’ en estado cambiante evaluados a la salida del tratamiento de refrigeración presentaron valores de firmeza de 0.7 ± 0.1 N, porcentaje de pérdida de peso de $3.4 \pm 0.1\%$, luminosidad y chroma en epicarpio de 33.8 ± 1.2 y 11.9 ± 0.5 respectivamente, así como luminosidad y Hue en mesocarpio de 17.3 ± 0.6 y 204.5 ± 33.2 , los valores variaron de los obtenidos al llegar a la madurez de consumo (dos días después de su salida de refrigeración y almacenamiento a 22 °C), firmeza 0.3 ± 0.1 N, porcentaje de pérdida de peso de $7.7 \pm 0.1\%$, luminosidad y chroma en epicarpio con valores de 39.5 ± 1.6 y 7.7 ± 0.1 , así como luminosidad y Hue en mesocarpio de 13.8 ± 0 y 247.7 ± 4.6 correspondientemente.

Concentración de Etileno y CO₂ en frutos almacenados a 13 °C

Actualmente no hay suficientes investigaciones que describan los cambios de concentración de etileno y CO₂ en frutos de aguacate nativos, de acuerdo con lo reportado por Osuna *et al.* (2017). El aguacate es un fruto climatérico con una alta tasa de respiración (80 a 300 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ a 20 °C) y alta producción de etileno (>100 µl C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹ a 20 °C), dificultando su conservación y comercialización a mercados distantes. Una de las técnicas más comunes para prolongar vida de anaquel y mantener calidad del fruto de aguacate es el uso de refrigeración. El aguacate es un fruto sensible a daños por frío cuando es sometido a bajas temperaturas por tiempos prolongados.

Los principales síntomas del daño por frío se manifiestan como zonas café tenue hasta el café oscuro en el mesocarpio (Román *et al.*, 2002). El principio para usar refrigeración es que ésta disminuye la velocidad de los procesos fisiológicos que conllevan a la maduración del fruto (Osuna *et al.*, 2017), en éste sentido y en relación a la respiración y producción de etileno, los frutos en estado cambiante almacenados durante nueve días a 13 °C presentaron a su salida concentraciones de 74.64 ± 12.67 µl C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹ y 49.33 ± 5.21 ml de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, un día después de su almacenamiento a 22 °C valores de 33.09 ± 2.99 µl C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹ y 46.98 ± 3.36 ml de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹. Al llegar a la madurez de consumo la presencia de etileno y CO₂ era mínimamente cuantificable, por lo cual dichos valores no se reportan.

Conclusiones

Los frutos en estado cambiante presentaron las mayores dimensiones en longitud y diámetro, así como el mayor contenido de pulpa y semilla, durante los días de almacenamiento a 22 ± 2 °C, los frutos en estado fisiológico verde tuvieron menor pérdida de peso. Sin embargo, al llegar a la madurez de consumo los tres estados fisiológicos presentaron valores semejantes de firmeza, luminosidad del epicarpio y grados Hue. En el estado fisiológico cambiante sobresalieron los valores de luminosidad del mesocarpio y chroma.

El momento de cosecha está en función del parámetro de calidad del que se tenga mayor interés. La refrigeración es recomendable para alargar la vida de anaquel de los frutos. Los frutos de aguacate 'Lonjas' presentan características fisiológicas y de calidad que pueden ser considerados como una alternativa de producción y comercialización a un nivel más que local. Aun así, se recomienda realizar estudios de calidad nutricional y nutracéutica.

Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento al Ing. Prisciliano Jiménez Rosales por su apoyo en campo y los frutos facilitados, al Dr. Humberto Vaquera Huerta por su asesoría en el análisis estadístico de resultados y al Dr. Gerardo Loera Alvarado por sus observaciones para mejorar la redacción.

Bibliografía

- Acosta, D. E.; Almeyda L. I. H. y Hernández, T. I. 2013. Evaluación de aguacates criollos en Nuevo León, México: región norte. *Rev. Mexic. Cienc. Agríc.* 4(4):531-542. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200709342013000400004&lng=es&tlng=es.
- Azcon, B. J. y Talón, M. 2013. *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw- Hill. Interamericana de España. 2^{da}. Ed. 280 p.
- Álvarez, O. M. G.; Pecina, Q. V.; Acosta, D. E. y Almeyda, L. I. H. 2018. Evaluación molecular del aguacate criollo (*Persea americana* Mill.) en Nuevo León, México. *Rev. Colomb. Biotecnol.* 20(2):38-46. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77658704004>.
- Barragán, L. E. 1999. *Frutos del campo michoacano*. El Colegio de Michoacán, AC. 260. ISBN 970-679-001-2.
- Benítez, J.; Sánchez, A.; Bolaños, C.; Bernal, L.; Ochoa, M. C.; Vélez, C. y Sandoval, A. 2021. Cambios fisicoquímicos del aguacate Hass durante el almacenamiento frío y la maduración acelerada. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial.* 19(2):41-56. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n2.2021.1490>.
- Corrales, G. J. E. and Méndez, Z. S. M. 2020. Criollo avocado of Mexican race (*Persea americana* var. *drymifolia*): an underutilized species in horticulture. *Hortic. Int. J.* 4(6):221-223 Doi: 10.15406/hij.2020.04.00186.
- Damián, N. A.; Palemón, A. F.; Moreno, J. J.; Hernández, C. E.; Damián, D. P. E.; Vargas, Á. D.; Díaz, V. G.; Villegas, T. O. G. y Reyes, G. G. 2017. Characterization of creole avocado fruits harvested from both central and northern regions of Guerrero, Mexico. *Inter. J. Adv. Res. Biol. Sci.* 4(10):151-159. Doi: <http://dx.doi.org/10.22192/ijarbs.2017.04.10.020>.

- Dixon, J.; Elmsly, T.; Smith, D. and Pak, H. 2022. Increasing pick to pack times increases ripe rots in “Hass” avocado. New Zealand avocado growers’ association annual research Report. 5:43-50. <https://www.avocadosource.com/journals/nzaga/nzaga-2005/nzaga-2005.P43-50.pdf>.
- Herrera, G. J. A.; Salazar, G. S.; Gutiérrez, M. P. y González, D. I. J. L. 2013. El comportamiento poscosecha de frutos de aguacate ‘Hass’ es influenciado por el portainjerto. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 1(4):19-32. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S2007-09342013000100002&lng=es&tlng=es>.
- Herrera, G. J. A.; Salazar, G. S.; Martínez, F. H. E. y Ruiz, G. J. E. 2017. Indicadores preliminares de madurez fisiológica y comportamiento poscosecha del fruto de aguacate Méndez. Rev. Fitotec. Mex. 1(40):55-63. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61051194007>.
- Lancaster, J. E.; Lister, C. E.; Reay, P. F. and Triggs, C. M. 1997. Influence of pigment composition on skin color in a wide range of fruit and vegetables. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 122(4):594-598. Doi: <https://doi.org/10.21273/JASHS.122.4.594>.
- López, G. G.; Medina, T. R.; Guillén, A. H.; Ramírez, G. L.; Aguilar C. J. A. y Valdivia, R. M. G. 2012. Características fenotípicas de hoja y fruto en selecciones de aguacate criollo de clima subtropical en el estado de Nayarit. Rev. Fuente. 4(10):56-61. <http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/04-10/6.pdf>.
- Magaña, B. W.; Sauri, D. E.; Corrales, G. J. y Saucedo, V. C. 2013. Variaciones bioquímicas-fisiológicas y físicas de la fruta de pitahaya (*Hylocereus undatus*) almacenadas en ambiente natural. Rev. Iberoam. Tecnol. Postcosecha. 14(2):139-148. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81329290007>.
- Mishra, P.; Paillart, M.; Meesters, L.; Woltering, E.; Chauhan, A. and Polder, G. 2021. Assessing avocado firmness at different dehydration levels in a multi sensor framework. Infrared Physics Technol. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2021.103901>.
- NMX-FF-016-SCFI-2016. Productos alimenticios no industrializados para uso humano fruta fresca aguacate Hass (*Persea americana* Mill.)-especificaciones. <https://media.gotomexico.today/reglament/nmx-ff-016-scfi-2016.pdf>.
- Osuna, G. J. A.; Nolasco, G. Y.; Herrera, G. J. A.; Guzmán, M. S. H. y Álvarez, B. A. 2017. Influencia del clima y rugosidad sobre la tolerancia a refrigeración del aguacate ‘Hass’. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 19(esp):3911-3921. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.660>.
- Ramos, A. A.; Ornelas, P. J.; Tapia, V. L. M.; Gardea, B. A. A.; Yahia, E. M.; Ornelas, P. J. J.; Pérez, M. J. D.; Ríos, V. C. y Escalante, M. P. 2021. Metabolomic analysis and physical attributes of ripe fruits from Mexican creole (*Persea americana* var. *Drymifolia*) and ‘Hass’ avocados. Food Chem. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.129571.
- Reyes, A. J. C.; Espíndola, B. M. C.; Barrientos, P. A.; Campos, R. E.; Aguilar, M. J. J.; Zarate, C. J. J. y López, J. A. 2009. Aguacate: variedades, selecciones y variedades criollas de uso común. Sistema nacional de recursos filogenéticos para la alimentación y agricultura. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). 14 p. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232182/Aguacatevariedadesseleccionesyvariedadescriollasdeusocomun.pdf>.
- Rincón, H. C. A.; Sánchez, P. J. L. y Espinosa, G. F. J. 2011. Caracterización química foliar de los árboles de aguacate criollo (*Persea americana* var. *drymifolia*) en los bancos de germoplasma de Michoacán. Rev. Mex. Biod. 82:395-412. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S187034532011000200004 &lng=es&tlng=es>.

- Roldán, E. A.; Aguirre, P. S.; Barcnas, O. A. E; Hernández, T. I.; Verduzco, O. R. M.; Pérez, Z. M. y Gutiérrez, S. Y. 1999. Rescate de ecotipos criollos y silvestres de aguacate (*Persea americana* Mill.) en Tacámbaro Michoacán, México. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 5:69-71. https://www.avocadosource.com/WAC4/WAC4_p069.pdf.
- Román, M. E. A. y Yahia, K. E. 2002. Manejo postcosecha del aguacate. Vitae. 2(9):5-16. <https://www.redalyc.org/pdf/1698/169818107001.pdf>.
- SIAP. 2023. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola, por ubicación geográfica, variedad: aguacate criollo. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- 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 Sci. Technol. 44:2040-2046. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.06.005>.