

<http://dx.doi.org/10.5154/r.ctas.2021.08.02a>

Versión en español

## Postcosecha de cuatro ecotipos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) cultivados en Morelos, México

Brigitte Moncerrat Romero-Hinojosa; Jatsiri Jocelyn Arzate-Bolaños;  
Iran Alia-Tejagal\*; Juan Emilio Alvarez-Vargas; Gloria Alicia Pérez-Arias;  
Dante Vladimir Galindo-García; Dagoberto Guillén-Sánchez

Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Universidad, Núm. 1001,  
Chamilpa, Cuernavaca, C. P. 62210. Morelos, México.

### Historial del artículo:

Recibido: 2 de agosto de 2021

Aceptado: 16 de septiembre de 2021

### \*Autor de correspondencia:

iran.alia@uaem.mx

### Resumen

México cuenta con gran diversidad de ciruela mexicana, una especie frutal con potencial para cultivarse en forma comercial; sin embargo, pocos estudios postcosecha se han realizado en los ecotipos conocidos. El objetivo del presente trabajo fue caracterizar en postcosecha cuatro ecotipos de ciruela mexicana cultivados en Morelos, cuya información es básica para el desarrollo de tecnologías orientadas a incrementar su vida de anaquel. Se colectaron frutos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) 'Amarilla', 'Castilla', 'Chapilla' y 'Roja' con desarrollo del color en la epidermis de 50 o 75 %, para determinar algunos cambios durante su maduración. En 'Amarilla' y 'Chapilla' el máximo de respiración fue tres días después de la cosecha, detectándose diferencias entre etapas de maduración. En 'Castilla' y 'Roja' la respiración disminuyó constantemente sin detectarse diferencias entre etapas de maduración. El ángulo de matiz ( $h^*$ ) disminuyó de colores tendientes al amarillo ( $63 \leq h^* \leq 86$ ) a colores cercanos al naranja y rojo ( $31 \leq h^* \leq 67$ ), detectándose diferencias entre etapas de madurez. La luminosidad ( $L^*$ ) disminuyó de valores entre 46 y 48 % a un rango entre 31 y 32 %, en tanto que la cromaticidad ( $C^*$ ) se incrementó de 18-25 a 36-42, indicando que el color se hizo más puro durante la maduración. Los sólidos solubles totales y la acidez titulable se incrementaron de 9.4 a 15.5 °Brix y de 0.27 a 0.48 %, respectivamente, existiendo diferencias significativas entre etapas de madurez al inicio de la evaluación, que no se mantuvieron durante la maduración. La vitamina C se incrementó durante la maduración en los cuatro ecotipos y no se detectaron diferencias entre etapas de madurez. Se detectaron diferencias en el comportamiento entre los ecotipos evaluados con escasas diferencias atribuidas a la madurez de cosecha, lo que se debe considerar en el desarrollo de tecnologías postcosecha en esta especie.

► **Palabras clave:** Acidez titulable, color, respiración, sólidos solubles totales, vitamina C.

### Introducción

La ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) es un frutal originario de Mesoamérica, donde se le conoce también como 'jocote' (del náhuatl Xocotl o fruto ácido) (Duarte & Paull, 2015). En particular, se considera que el centro de origen es la región occidente de México (Jalisco, Nayarit y Michoacán) y los centros de diversidad genética son la Depresión del Balsas y la Península de Yucatán (Fortuny-Fernández, Monserrat Ferrer, & Ruenes-Morales, 2017). El género *Spondias* contiene 17 especies, de las cuales siete están en

el Neotrópico y 10 en los trópicos asiáticos. Al menos seis especies son cultivadas, de las cuales tres son asiáticas y tres americanas: *Spondias mombin*, *S. purpurea* y *S. tuberosa* (Miller, 2011). En México se reporta la presencia de *S. mombin*, *S. radlkoferi*, *S. purpurea* y *S. lutea*, en 20 estados, principalmente en la parte sur y cercana a la costa (Cruz & Gutiérrez, 2012). Aunque la ciruela mexicana se multiplica con fines comerciales, la información acerca de los genotipos actuales es escasa, debido principalmente a que su cultivo se basa en la agricultura informal en huertos de traspatio, cercas vivas y granjas pequeñas, y los tipos silvestre están en zonas

de acceso difícil (Alia-Tejagal et al., 2012). Sin embargo, se cuenta con algunos datos estadísticos reportados en diferentes publicaciones, que indican que en nuestro país se produce ciruela en 21 estados, concentrada en Puebla (3 554 ha), Chiapas (2 327 ha) y Sinaloa (1 510 ha), que en conjunto alcanzan una superficie de 7 391.5 ha, lo que constituye el 61 % del total de la superficie cosechada en el país (Cruz & Rodríguez, 2012).

Los árboles de *S. purpurea* son utilizados como cercos vivos; sus hojas son muy apetecibles por el ganado y su fruto se consume en estado inmaduro o maduro (Ramírez-Hernández et al., 2008). En algunas regiones como Chiapas es cultivado en forma comercial con un incipiente manejo agronómico que involucra fertilización y control de plagas (Alia-Tejagal et al., 2012). Los frutos de la ciruela mexicana son drupas oblongas, redondas u ovoides; de tamaños y masas diversas que fluctúan entre 2 y 5 cm y entre 4 y 33 g, respectivamente, con epicarpio liso a semiliso, delgado y de coloración roja, amarilla, café rojiza, anaranjada o morada al madurar, con endocarpio grueso y fibroso y mesocarpio de sabor y aroma agradables (Maldonado-Astudillo et al., 2014). El fruto maduro de la ciruela mexicana proporciona alta densidad calórica, vitamina C y moderada proporción de minerales como potasio y calcio (Kozioł & Macía, 1998), además de compuestos antioxidantes como fenoles y carotenoides (Moo-Huchin et al., 2014).

La ciruela mexicana puede dividirse en grupos de estación seca y estación húmeda, lo que se refiere principalmente a la etapa de fructificación y cosecha (Avitia, Castillo, & Pimental, 2003; Miller, 2011). El fruto de la ciruela mexicana 'Cuernavaqueña', de estación húmeda, una vez cosechado, presenta incremento en la producción de etileno y CO<sub>2</sub>, en el contenido de sólidos solubles, azúcares totales, ángulo de matiz, carotenoides totales y pérdida de peso, así como una disminución significativa de la firmeza y la acidez titulable del fruto (Maldonado-Astudillo et al., 2014). En general, se menciona que el fruto de ciruela mexicana tiene una vida postcosecha corta, entre 5 y 6 d, a temperatura ambiente (Duarte & Paull, 2015). Suárez et al. (2017) indican que el contenido de fenoles, flavonoides, carotenoides totales y la actividad antioxidante fue mayor cuando el fruto alcanzó la maduración máxima y se detectaron altas correlaciones positivas entre los compuestos bioactivos y la actividad antioxidante, en el ecotipo de estación húmeda 'Cuernavaqueña'. En México se han descrito alrededor de 20 variedades de ciruela mexicana (Avitia, et al., 2003), pero no se han evaluado los cambios físicos, químicos y fisiológicos en postcosecha en diferentes etapas de madurez del fruto.

En el estado de Morelos, México, se han evaluado algunas características físicas, químicas y fisiológicas de algunos ecotipos de la región en madurez de consumo (Alia-Tejagal et al., 2012; Álvarez-Vargas et al., 2017; Maldonado, Alia, Nuñez-Colín, Hernández, & Martínez, 2017); sin embargo, no se han evaluado los cambios en etapas de madurez di-

ferentes a la madurez de consumo. Por ello, en el presente experimento se evaluaron algunos cambios en postcosecha de cuatro ecotipos de ciruela mexicana de clima seco, colectados en Morelos, México, ya que esta información puede ser utilizada para un posterior desarrollo de tecnologías en postcosecha, para mantener por más tiempo la vida de anaquel.

## Materiales y métodos

### Localización y material vegetal

Se colectaron entre 50 y 60 frutos de árboles de cuatro ecotipos de ciruela mexicana en municipios del sur de Morelos (Cuadro 1). Los frutos fueron cosechados en dos etapas de madurez con color de epidermis al 50 % y color de epidermis al 75 %, entre las 8:00 y 10:00 horas. El material se trasladó al Laboratorio de Producción Agrícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, donde se ambientó a la temperatura del laboratorio y posteriormente se sumergió en una solución de cloro al 1 % por 1 min y se dejó secar sobre papel (Sanitas®) durante 3 h. Los frutos se seleccionaron para el experimento de forma que no tuvieran daños mecánicos o por patógenos.

### Organización experimental

Los frutos en cada ecotipo se dividieron de la siguiente forma: (1) frutos con 50 % del color de la epidermis característico y; (2) frutos con 75 % del color característico de la epidermis. Se realizaron muestreos destructivos y no destructivos a los 0, 3, 6, 9 y 12 d después de la cosecha. Los frutos se mantuvieron en charolas durante el periodo de evaluación. La unidad experimental fue un fruto y se tuvieron seis repeticiones. El diseño experimental utilizado fue uno completamente al azar.

### Variables evaluadas

#### Color

Se determinaron los parámetros de color: luminosidad (L\*), a\* y b\*, en el epicarpio de la zona ecuatorial con un espectrofotómetro manual (X-Rite 3290®, USA). Los valores de a\* y b\* se usaron para determinar ángulo de matiz con el cálculo ( $h^* = \arctan^{-1} b^*/a^*$ ) y cromaticidad con el cálculo ( $C^* = (+)$ ) (Neguerula, 2012).

#### Respiración

La tasa de respiración se cuantificó mediante un sistema estático, que consistió en colocar dos frutos intactos en recipientes cerrados herméticamente durante 1 h. Posteriormente, se tomó una muestra de 1 mL del espacio de cabeza para inyectarlo en un cromatógrafo de gases (Agilent Technologies 7890A GC, USA), con una columna tipo abierta con empaque de capa porosa de sílica, conectado simul-

Cuadro 1. Ecotipos de ciruela mexicana evaluados, provenientes de Morelos.

Ecotipo	Lugar de recolecta	Coordenadas <sup>†</sup>	Altitud (m) <sup>†</sup>
'Castilla'	Cuautlita	18°42'02.02" N, 99°22'33.41" O	954
'Chapilla'	Cuautlita		
'Amarilla'	Cuautlita		
'Roja'	Cuahuchichinola	10°40'02.02" N, 99°22'34.20" O	941

<sup>†</sup>: Google Earth Pro (2018).

táneamente a un detector de conductividad térmica a 170 °C. El inyector y horno del cromatógrafo se mantuvieron a temperatura de 150 y 80 °C, respectivamente, durante las evaluaciones. La cuantificación se realizó utilizando un estándar proporcionado por PRAXAIR®, México.

### Acidez titulable (AT)

Se determinó acidez titulable mediante el procedimiento descrito por Suárez et al. (2017), donde 1 g de tejido del fruto (epidermis + pulpa) se picó finamente y se homogeneizó con 12 mL de agua destilada en un equipo Ultraturax (IKA®, USA). Posteriormente, la mezcla se filtró y se tomaron 5 mL de líquido para titularlo con NaOH 0.1 N, usando fenolftaleína como indicador. Los resultados se expresaron como porcentaje de ácido cítrico.

### Sólidos solubles totales (SST)

El contenido de SST se determinó a partir de dos gotas del filtrado obtenido para determinar la acidez titulable, colocados en un refractómetro digital (ATAGO PAL-1®, Japón). Los resultados se reportaron en °Brix.

### Vitamina C

Se siguió la metodología propuesta por Jagota y Dani (1982), la cual es una técnica colorimétrica para la estimación de vitamina C, usando el reactivo de Folin-Ciocalteu (FC). Se pesó 1 g de muestra y se homogeneizó con 4 mL de ácido tricloroacético (TCA) al 10 % p/v. La mezcla se colocó en un baño de hielo durante 5 min, se centrifugó a 11 290 x g durante 20 min a 4 °C. Se tomaron alícuotas de 0.5 mL del sobrenadante y se mezclaron con 1.5 mL de agua bidestilada y 200 µL de reactivo de FC. La mezcla se dejó reaccionar en la oscuridad durante 15 min y se leyó absorbancia a 760 nm. Para estimar el contenido de vitamina C se construyó una curva estándar con ácido ascórbico. La concentración total se expresó en mg·g<sup>-1</sup> de peso fresco.

### Análisis de datos

Los datos se analizaron mediante comparación de medias con una prueba de t, utilizando el programa SigmaPlot

14.0 (Systat Software, Inc., San Jose California USA). Los resultados se representaron en forma gráfica con la media de las observaciones y su error estándar.

## Resultados y discusión

### Respiración

La respiración de los ecotipos 'Amarilla' y 'Chapilla' mostraron un patrón climatérico típico. El máximo de producción de CO<sub>2</sub> se determinó después de tres días de la cosecha, observándose diferencias significativas entre etapas de maduración, específicamente en el preclimaterio, en el caso del ecotipo 'Amarilla' o en el preclimaterio y posclimaterio, en el caso de 'Chapilla' (Figura 1A y 1C). En los ecotipos 'Castilla' y 'Roja', el patrón climatérico no fue evidente, ya que se detectó una disminución constante de la respiración, que pudiera considerarse la fase del posclimaterio, ya que los valores máximos de producción se observaron el día inicial de evaluación y no se detectaron diferencias en la respiración entre las etapas de maduración dentro de cada ecotipo (Figura 1 B y D). El ecotipo 'Castilla' mostró en promedio la mayor actividad respiratoria (Figura 1B).

Almeida, Singh, y Holschuh (2008) reportaron que, en postcosecha, la ciruela roja mombin (*Spondias purpurea* L.) muestra un estado de mínimo preclimaterio, seguido de un rápido incremento en la respiración, alcanzando un máximo (pico climatérico) y posterior disminución de la actividad respiratoria (postclimaterio) en la senescencia. El máximo climatérico se obtuvo después de 5.6 d a 28 °C. En el presente trabajo, 'Amarilla' y 'Chapilla' alcanzaron el máximo de respiración a los 3 d, es decir 2.6 d antes a lo reportado por de Almeida et al. (2008). Esto fue debido a que estos autores cosecharon los frutos en una etapa con 100 % de coloración verde, en tanto que en el presente trabajo la cosecha fue con 50 o 75 % de color característico de la epidermis del fruto.

Diferentes autores han reportado que el fruto de *Spondias purpurea* L., muestra un comportamiento climatérico; sin embargo, algunos otros no detectaron el climaterio en las evaluaciones realizadas en la misma especie (Mohammed et al., 2019). En el presente experimento, el climaterio no

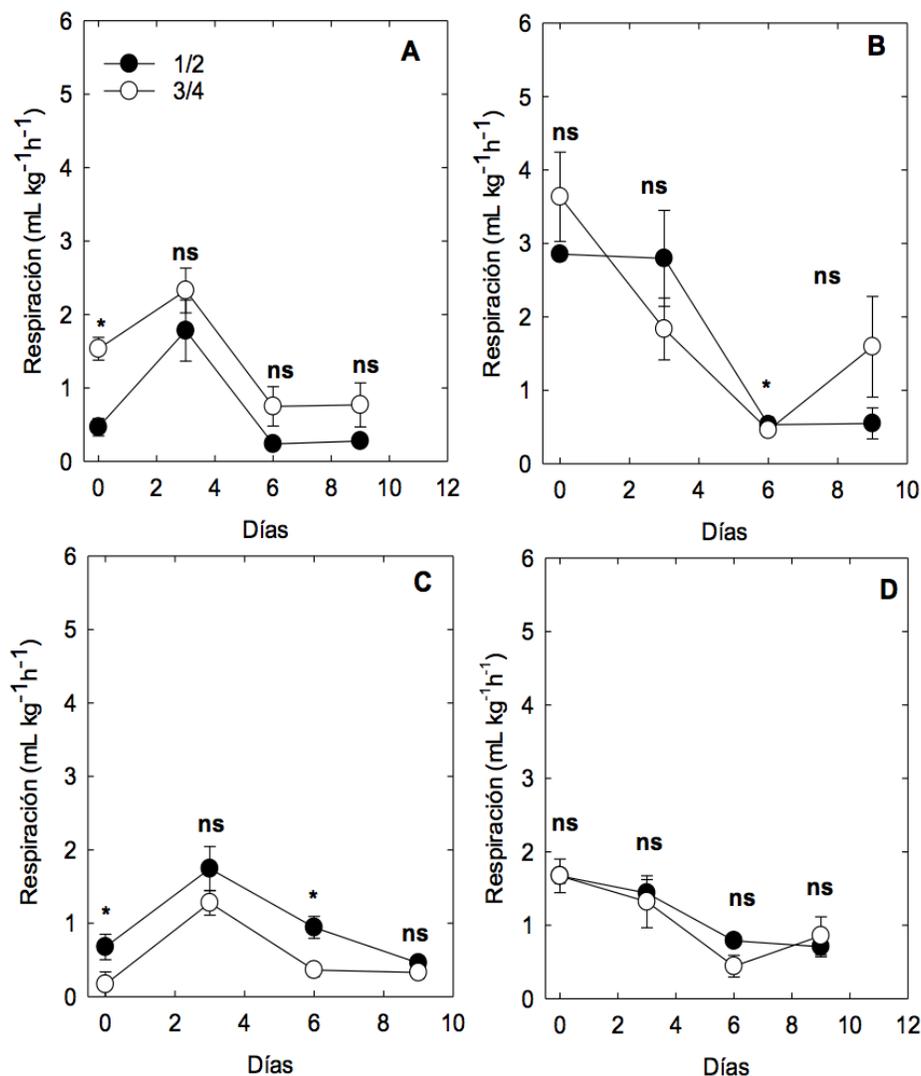


Figura 1. Respiración en frutos de ciruela mexicana (A) ‘Amarilla’, (B) ‘Castilla’, (C) ‘Chapilla’ y (D) ‘Roja’ después de ser cosechados en dos etapas de maduración: 50 % (1/2) y 75 % (3/4) de color. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar. \*: significativo a 0.05 de acuerdo con la prueba de t.

se observó en los ecotipos ‘Castilla’ y ‘Roja’ (Figura 1 C y D). Maldonado-Astudillo et al. (2014) indicaron que debido a la variación en el comportamiento en la producción de CO<sub>2</sub>, es difícil determinar si la ciruela mexicana es climaterica o no. En el presente trabajo, la no detección de los máximos de producción de CO<sub>2</sub> en ‘Castilla’ y ‘Roja’ se puede atribuir a: (1) que los frutos fueron cosechados en una etapa donde el climaterio ya había ocurrido; (2) que el muestreo cada tres días no favoreció la detección del máximo de producción y (3), que estos ecotipos muestran un patrón de respiración diferente al climaterico.

Las escasas diferencias en la velocidad de respiración entre etapas de maduración en cada ecotipo, ha sido reportado anteriormente por Suárez et al. (2017), quienes no detectaron diferencias en la producción de CO<sub>2</sub> en el ecotipo de estación húmeda ‘Cuernavaqueña’ cosechado en etapa

verde, 50, 75 y 100 % de color de la epidermis del fruto. La mayor velocidad de respiración en ‘Castilla’ sugiere una menor vida útil en postcosecha que el resto de los ecotipos. Kader y Yahia (2011) indicaron que la velocidad de deterioro está inversamente relacionado a la velocidad de respiración aeróbica en frutos tropicales y subtropicales.

#### Parámetros de color

El color del ecotipo ‘Amarilla’ cambió de amarillo-verdoso (h\* = 83) a tendiente al naranja (h\* = 68) en los frutos cosechados con 50 % de avance de la modificación de color, en tanto que en los frutos cosechados con 75 % de color alcanzaron valores con tendencia mayor al naranja (h\* = 54) (Figura 2I). La luminosidad y la cromaticidad se incrementaron al tercer día de evaluación y, posteriormente, disminuyeron a valores similares al inicio del expe-

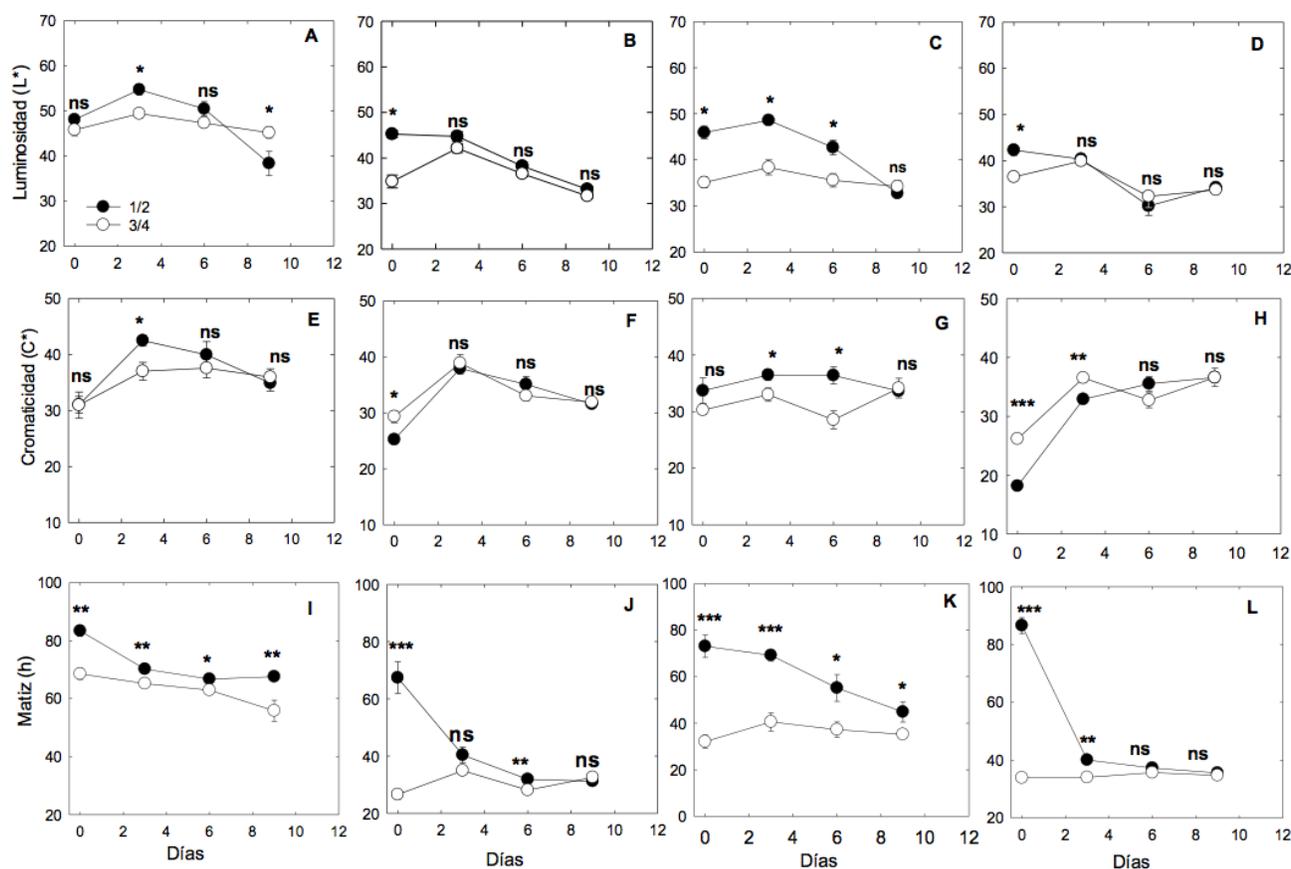


Figura 2. Parámetros de color frutos de ciruela mexicana (A, E, I) ‘Amarilla’, (B, F, J) ‘Castilla’, (C, G, K) ‘Chapilla’ y (D, H, L) ‘Roja’ después de ser cosechados en dos etapas de maduración: 50 % (1/2) y 75 % (3/4) de color. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar. \*, \*\*, \*\*\*: significativo a 0.05, 0.01 y <0.0001, respectivamente, de acuerdo con la prueba de t. ns: no significativo.

rimento, mostrando diferencias entre etapas de madurez solo en el tercer día de evaluación (Figura 2A y 2E).

En el ecotipo ‘Castilla’, el color de los frutos cosechados al 50 % mostró significativamente mayor tendencia al naranja ( $h^* = 67.3$ ) y posteriormente cambió hacia el rojo púrpura; en tanto, los frutos al 75 % mostraron un color rojo tendiente al púrpura ( $h^* = 27$ ) durante 8 d (Figura 2J). La prueba de t determinó diferencias en el color debido a la etapa de cosecha al inicio y tercer día de evaluación (Figura 2J). La cromaticidad y luminosidad fueron diferentes al inicio de las evaluaciones en ambas etapas de madurez; posteriormente, la luminosidad disminuyó gradualmente y la cromaticidad se incrementó, manteniendo después un valor constante, sin detectarse diferencias debidas a la etapa de madurez (Figura 2B y 2F).

En el ecotipo ‘Chapilla’, al inicio de las evaluaciones, los frutos con 75 % de color mostraron tendencia al rojo ( $h^* = 31$ ), mientras que los frutos con 50 % de color tuvieron un color tendiente al amarillo ( $h^* = 74$ ), manteniendo diferencias significativas entre las etapas de madurez en todo el periodo de evaluación (Figura 2K). Los parámetros de cromaticidad y luminosidad mostraron diferencias entre etapas de maduración hasta el sexto día de evaluación; así,

los frutos con 75 % de color mostraron menor luminosidad y fueron más opacos que los frutos con 50 % de pigmentación (Figura 2C y 2G). Al respecto, ambos parámetros disminuyeron con el proceso de maduración y alcanzaron valores similares a los 9 d de evaluación (Figura 2C y 2G).

El ecotipo ‘Roja’, cosechado con 50 % de pigmentación, mostró una tendencia al amarillo ( $h^* = 86.5$ ) y los frutos con 75 % de color mostraron tendencia al rojo ( $h^* = 34$ ), indicando diferencias entre fases de maduración al inicio de las evaluaciones. Sin embargo, después del sexto día de evaluación ya no se detectaron diferencias entre etapas de madurez (Figura 2L). La luminosidad disminuyó durante el proceso de evaluación, lo que indicó que el color se hizo opaco al madurar, sin detectarse diferencias entre etapas de madurez (Figura 2D). Por otra parte, la cromaticidad se incrementó mostrando diferencias entre etapas de madurez durante los primeros 3 d de evaluación y posteriormente se detectaron valores similares de cromaticidad (Figura 2H).

Maldonado-Astudillo et al. (2014) indicaron que el ecotipo de estación húmeda ‘Cuernavacaña’ cosechado en verde, medio verde o con tres cuartos de maduración, presentó incremento y posterior disminución en luminosidad. Por otra parte, la cromaticidad solo se incrementó en los

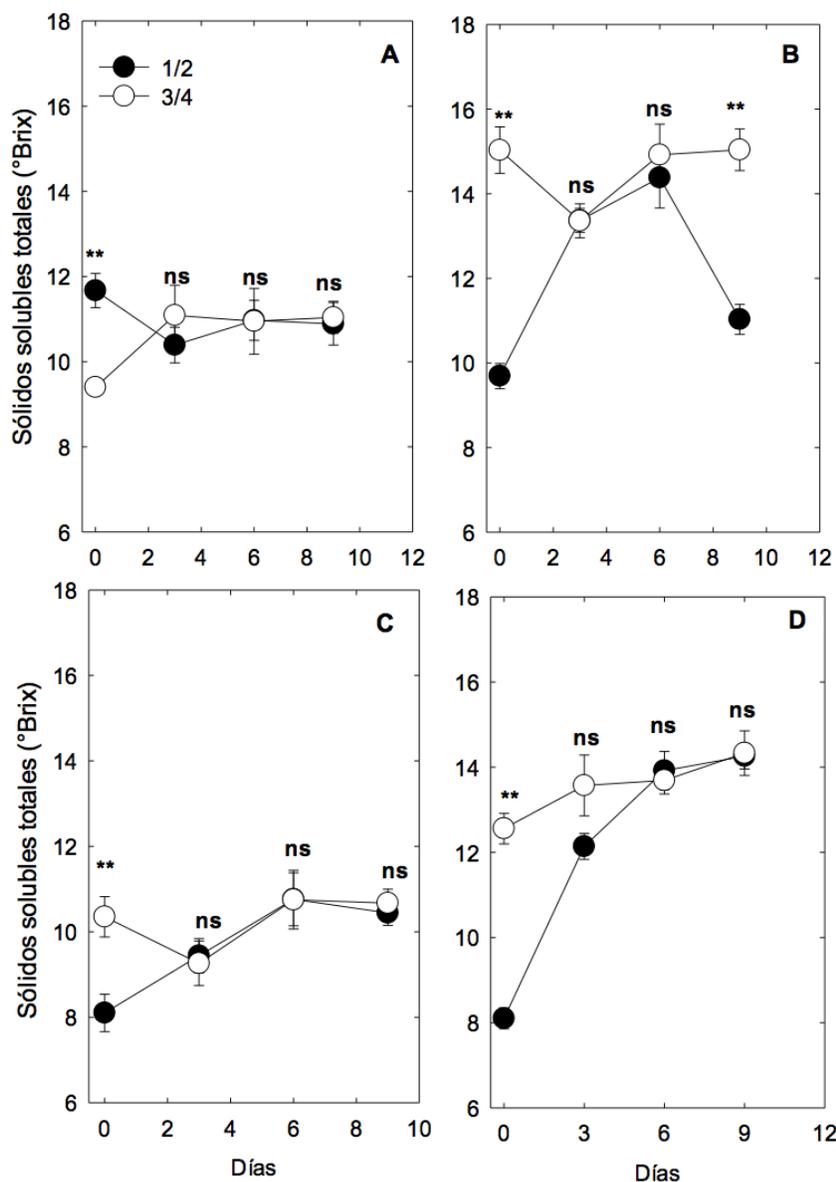


Figura 3. Sólidos solubles totales en frutos de ciruela mexicana (A) ‘Amarilla’, (B) ‘Castilla’, (C) ‘Chapilla’ y (D) ‘Roja’ después de ser cosechados en dos etapas de maduración: 50 % (1/2) y 75 % (3/4) de color. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar. \*: significativo a 0.05 de acuerdo con la prueba de t. ns: no significativo.

frutos cosechados inmaduros, en tanto que, en los frutos maduros o con total coloración existieron pocos cambios. Finalmente, el ángulo de matiz disminuyó del color verde ( $h^* = 93.6$ ), medio verde ( $h^* = 73.9$ ) o maduro ( $h^* = 53.2$ ) a un color rojo ( $h^* =$  entre 53 y 48.5). Estos cambios fueron similares a lo encontrado en el presente trabajo. El parámetro de ángulo de matiz fue el más cambiante y el que ayudó a diferenciar mejor las etapas de maduración, comparado con los parámetros de luminosidad y matiz (Figura 2). La ciruela mexicana muestra diferentes colores que van desde el verde, amarillo, naranja, rojo, púrpura, pero aún no existe un estudio enfocado sobre los pigmentos que definen estos colores y las concentraciones de cada pigmento en las variedades en México de *S. purpurea*.

### Sólidos solubles totales (SST)

Al inicio del experimento, los SST en los frutos del ecotipo ‘Amarilla’ con 75 % de avance de coloración tuvieron valor de 9.4 °Brix y los frutos con 50 % de madurez tuvieron 11.6 °Brix. Posteriormente, los SST se mantuvieron entre 10.4 y 11.1 °Brix (Figura 3A). En el ecotipo ‘Castilla’, los frutos con 50 % de color presentaron valor inicial de 9.7 °Brix, alcanzado un máximo de 14.3 °Brix a los 9 d de evaluación, en tanto que los frutos cosechados con 75 % de madurez iniciaron con 15 °Brix y se mantuvieron entre 13.3 y 15 °Brix durante el periodo de evaluación (Figura 3B). En el ecotipo ‘Chapilla’, los frutos con 50 % de color mostraron 8.1 °Brix al iniciar las evaluaciones, en

tanto que los frutos con 75 % de color tuvieron 10.3 °Brix; posteriormente, en los frutos de ambas etapas de maduración mostraron entre 9.4 y 10.6 °Brix, sin detectarse diferencias significativas (Figura 3 C). En el ecotipo 'Roja', los frutos con 50 % de maduración presentaron 8.1 °Brix y los frutos con 75 % de color tuvieron 12.5 °Brix, sin detectarse diferencias significativas entre los 3 y 9 d de evaluación, manteniéndose entre 12.1 y 13.5 °Brix (Figura 3 D).

En ciruela mexicana, el contenido de SST varía entre 3.2 y 27.0 °Brix (Maldonado-Astudillo et al., 2014). Durante la maduración, los SST se incrementan de 9.1 °Brix en la etapa preclimaterica a 13.7 °Brix en la etapa del máximo climaterio (Almedia et al., 2008). Este comportamiento se observó en los ecotipos 'Castilla', 'Chapilla' y 'Roja', pero no así en 'Amarilla'. La cantidad de SST es influenciada por la variedad, la etapa de maduración con la que se hace

la cosecha, las condiciones de almacenamiento o los tratamientos postcosecha evaluados (Maldonado-Astudillo et al., 2014). La concentración de SST fue significativamente diferente al inicio de las evaluaciones, sin embargo, posteriormente todos los ecotipos mostraron valores muy similares, lo cual ha sido reportado anteriormente en el ecotipo de estación húmeda 'Cuernavaqueña' (Maldonado-Astudillo et al., 2014). 'Castilla' y 'Roja' fueron los ecotipos con mayor concentración de SST, ya que alcanzaron entre 13.5 y 15.0 °Brix, en tanto que 'Amarilla' y 'Chapilla' acumularon entre 9.4 y 13.5 °Brix (Figura 3).

#### Acidez titulable

La acidez titulable mostró escasas diferencias entre las etapas de maduración al inicio de las evaluaciones en el ecotipo 'Chapilla' (Figura 4 A), en tanto que hubo diferen-

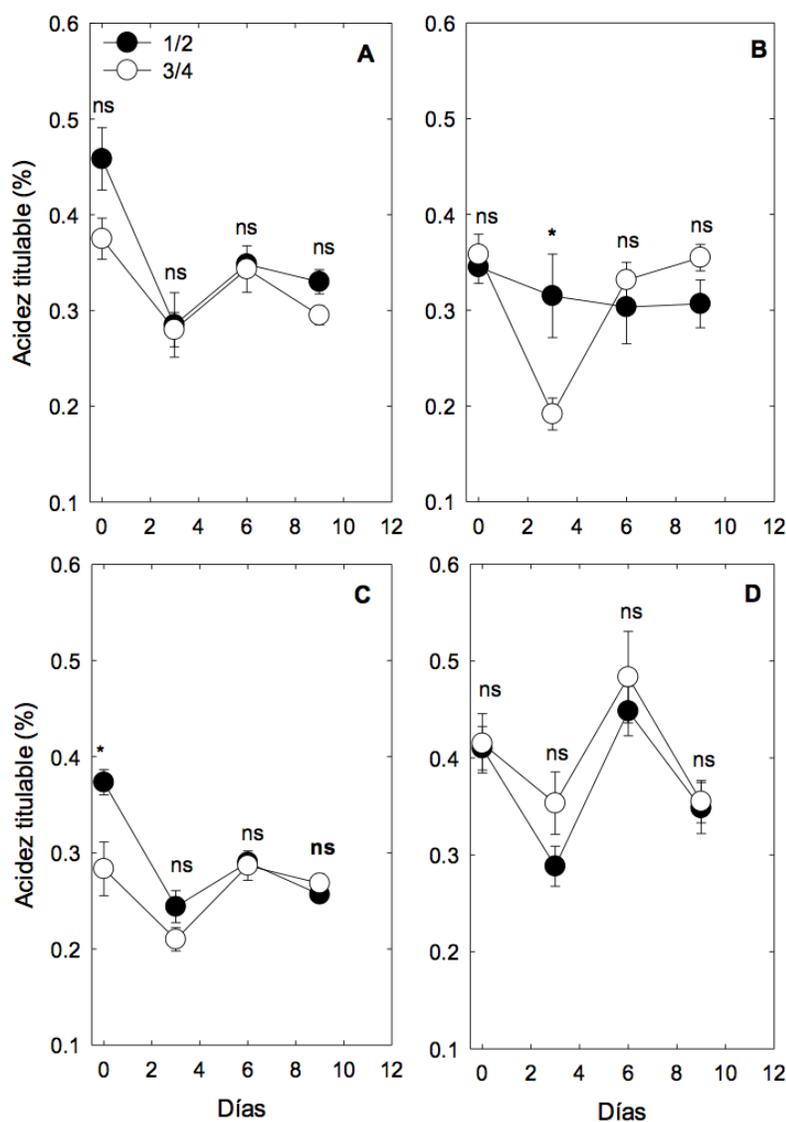


Figura 4. Acidez titulable en frutos de ciruela mexicana (A) 'Amarilla', (B) 'Castilla', (C) 'Chapilla' y (D) 'Roja' después de ser cosechados en dos etapas de maduración: 50 % (1/2) y 75 % (3/4) de color. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar. \*: significativo a 0.05 de acuerdo con la prueba de t. ns: no significativo.

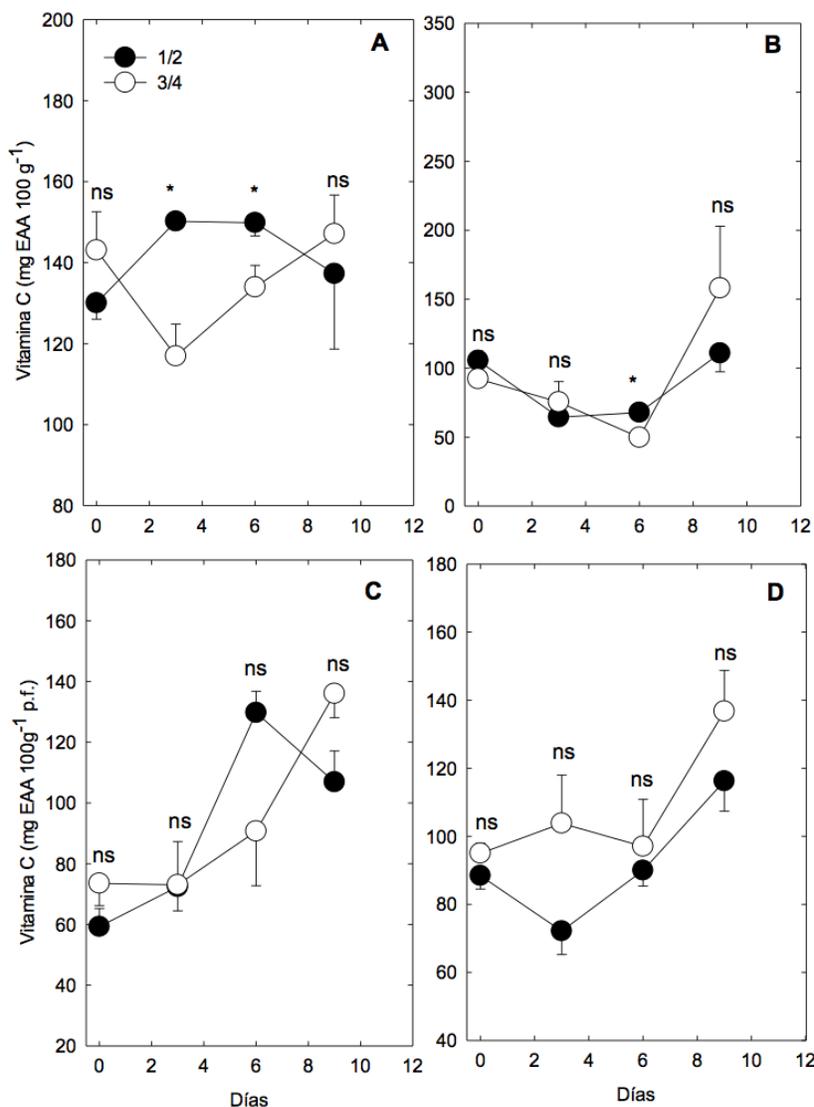


Figura 5. Contenido de vitamina C en frutos de ciruela mexicana (A) 'Amarilla', (B) 'Castilla', (C) 'Chapilla' y (D) 'Roja' después de ser cosechados en dos etapas de maduración: 50 % (1/2) y 75 % (3/4) de color. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar. \*: significativo a 0.05 de acuerdo con la prueba de t. ns: no significativo.

cias en el tercer día de evaluación en el ecotipo 'Castilla' (Figura 4B). En *Spondias purpurea* la acidez titulable se encuentra entre 0.2 y 3.05 %, aunque algunos ecotipos pueden mostrar 0.012 % (Maldonado-Astudillo et al., 2014; Maldonado et al., 2017). La acidez disminuyó en los cuatro ecotipos durante la maduración de entre 0.28 y 0.45 % hasta entre 0.19 y 0.20 % (Figura 4). Suárez et al. (2017) indicaron que la acidez en ciruela mexicana 'Cuernavaqueña' disminuyó de 0.42 -0.48 % a 0.23 -0.27 % en la pulpa y epicarpio. Los ecotipos 'Roja' y 'Amarilla' mostraron los valores mayores de acidez titulable, entre 0.28 y 0.48 %, mientras que en 'Castilla' y 'Chapilla' se mantuvieron valores entre 0.27 y 0.37 % (Figura 4). Valero y Serrano (2010) indicaron que, en jitomate, la acidez se ubica entre 0.4 y 1.7 %, en cereza dulce entre 1 y 1.5 % y en ciruela española entre 0.7 y 1.6 %, lo que indicó que los

ecotipos de ciruela mexicana evaluados son considerados de acidez baja.

### Vitamina C

El contenido de vitamina C se incrementó en todos los ecotipos, sin importar la etapa de maduración (Figura 5), con excepción de los frutos cosechados con 75 % de color del ecotipo 'Amarilla', donde se encontró la menor cantidad de vitamina C entre el tercero y sexto día (Figura 5A). El ecotipo 'Chapilla' mostró mayor contenido de vitamina C, alcanzando hasta 130 mg EAA · 100 g<sup>-1</sup> (Figura 5). Bezerra, Gomes, Ferreira, y Freire (2011) reportaron que, en ciruela mexicana, el ácido ascórbico se incrementó de 16.1 hasta 22 mg · 100 g<sup>-1</sup> durante la maduración, atribuido a un incremento en la síntesis de intermediarios metabólicos,

probablemente derivado de polisacáridos obtenidos de la degradación de la pared celular durante el proceso de maduración.

## Conclusiones

Se determinaron diferencias en el comportamiento físico, fisiológico y químico entre los cuatro ecotipos de ciruela mexicana. Se detectaron diferencias entre las etapas de madurez cosechadas al inicio de las evaluaciones, pero al final de la maduración dejaron de observarse. Los datos obtenidos son información inicial para desarrollar tecnologías de manejo postcosecha en cada uno de los ecotipos.

## Referencias

- Alia-Tejacal, I., Astudillo-Maldonado, Y. I., Núñez-Colín, C. A., Valdez-Aguilar, L. A., Bautista-Baños, S.,..., Rivera-Cabrera, F. (2012). Caracterización de frutos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) del sur de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(Especial 5), 21–26.
- Álvarez-Vargas, J. E., Alia-Tejacal, I., Chávez-Franco, S. H., Colinas-León, M. T., Nieto-Ángel, D.,..., Aguilar-Pérez, L. A. (2017). Ciruelas mexicanas (*Spondias purpurea*) de clima húmedo y seco: calidad, metabolitos funcionales y actividad antioxidante. *Interciencia*, 42(10), 653–660.
- Avitia, G. E., Castillo, G. A. M., & Pimienta, B. E. (2003). *Ciruela mexicana y otras especies del género Spondias* L. (2da. ed.). Universidad Autónoma Chapingo.
- Bezerra, da S. F. E. C., Gomes, da S. F. V., Ferreira, dos S. A., & Freire, de M. I. (2011). Avaliação da qualidade de ciruela (*Spondias purpurea*, L) em diferentes estádios de maturação. *Revista Verde*, 6(2), 27–40.
- Cruz, L. A., & Gutiérrez, J. A. G. (2012). Distribución geográfica del género *Spondias* en México. In L. A. Cruz, D. A. Pita & H. B. Rodríguez (Eds.), *Jocotes, jobos, abales o ciruelas mexicanas* (pp. 31–38). Universidad Autónoma Chapingo.
- Cruz, L. A., & Rodríguez, H. B. (2012). Cultivo. In L. A. Cruz, D. A. Pita & H. B. Rodríguez (Eds.), *Jocotes, jobos, abales o ciruelas mexicanas* (pp. 77–101). Universidad Autónoma Chapingo.
- de Almeida, S. S., Singh, B. P., & Holschuh, H. J. (2008). Postharvest respiration and maturation of some lesser-known exotic fruits from Brazil – ciruela (*Spondias purpurea* L.). *Revista Ceres*, 55(2), 141–145.
- Duarte, O., & Paull, R. E. (2015). *Exotic fruits and nuts of the new world*. CABI.
- Fortuny-Fernández, N. M., Monserrat Ferrer, M. & Ruenes-Morales, M. del R. (2017). Centros de origen, domesticación y diversidad genética de la ciruela mexicana, *Spondias purpurea* (Anacardiaceae). *Acta Botanica Mexicana*, 121, 7–38. <https://doi.org/10.21829/abm121.2017.1289>
- Jagota, S. K., & Dani, H. M. (1982). A new colorimetric technique for the estimation of vitamin C using Folin phenol reagent. *Analytical Biochemistry*, 127(1), 178–182. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(82\)90162-2](https://doi.org/10.1016/0003-2697(82)90162-2)
- Kader, A. A., & Yahia, E. M. (2011). Postharvest biology of tropical and subtropical fruits. In E. M. Yahia (Ed.), *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits* (pp. 79–111). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857093622.79>
- Kozioł, M. J., & Macía, M. J. (1998). Chemical composition, nutritional evaluation, and economic prospects of *Spondias purpurea* (Anacardiaceae). *Economic Botany*, 52(4), 373–380. <https://doi.org/10.1007/BF02862067>
- Maldonado-Astudillo, Y. I., Alia-Tejacal, I., Núñez-Colín, C. A., Jiménez-Hernández, J., Pelayo-Zaldívar, C.,..., Valle-Guadarrama, S. (2014). Postharvest physiology and technology of *Spondias purpurea* L. and *S. mombin* L. *Scientia Horticulturae*, 174, 193–206. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.016>
- Maldonado, A. Y. I., Alia, T. I., Núñez-Colín, A. C., Hernández, J. J., & Martínez, V. L. (2017). Chemical and phenotypic diversity of Mexican plums (*Spondias purpurea* L.) from the states of Guerrero and Morelos, Mexico. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 39(2). <https://doi.org/10.1590/0100-29452017610>
- Miller, A. (2011). *Spondias*. In C. Kole (Ed.), *Wild crop relatives: genomics and breeding resources, tropical and subtropical fruits* (pp. 203–211). Springer-Verlag.
- Mohammed, M., Bridgemohan, P., Graham, O., Wickham, L., Bridgemohan, R. S. H., & Mohammed, Z. (2019). Postharvest physiology, biochemistry and quality management of chili plum (*Spondias purpurea* var. *Lutea*): A review. *Journal of Food Research*, 8(3), 1. <https://doi.org/10.5539/jfr.v8n3p1>
- Moo-Huchin, V. M., Estrada-Mota, I., Estrada-León, R., Cuevas-Glory, L., Ortiz-Vázquez, E.,..., Sauri-Duch, E. (2014). Determination of some physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of tropical fruits from Yucatan, Mexico. *Food Chemistry*, 152, 508–515. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.013>
- Neguerula, Á. I. (2012). Is the color measured in food the color that we see? In J. L. Caivano & M. del Pilar Buera (Eds.), *Color in food* (pp. 81–91). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11878>
- Ramírez-Hernández, B. C., Pimienta-Barrios, E., Castellanos-Ramos, J. Z., Muñoz-Urías, A., Palomino-Asbach, G., & Pimienta-Barrios, E. (2008). Sistemas de producción de *Spondias purpurea* (Anacardiaceae) en el centro-occidente de México. *Revista de Biología Tropical*, 56, 675–687.
- Suárez, V. A., Juárez-López, P., López-Martínez, V., Pérez, L. J. F., Guillén, D. S., & Alia-Tejacal, I. (2017). Antioxidant activity and physicochemical parameters in ‘Cuernaqueña’ Mexican plum (*Spondias purpurea* L.) at different ripening stages. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 39(4), e-787. <https://doi.org/10.1590/0100-29452017787>
- Valero, D., & Serrano, M. (2010). *Postharvest biology and technology for preserving fruit quality*. CRC Press.