

Relación de los cambios físicos, químicos, fisiológicos y actividad antioxidante durante el crecimiento y maduración del fruto de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E.Moore & Stearn]

Relationship of physical, chemical, physiological changes and antioxidant activity during the growth and ripening of mamey sapote [*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E.Moore & Stearn] fruits

Raúl Saucedo-Hernández¹ , Gloria Alicia Pérez-Arias^{1*} , Iran Alia-Tejacal¹ , Víctor López-Martínez¹ , Porfirio Juárez-López¹ , Nelson Avonce-Vergara² , Juan Manuel Villarreal-Fuentes³ 

¹ Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Av. Universidad, núm. 1001, Chamilpa, 62209, Cuernavaca, Morelos, México.

² Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Centro de Investigación en Dinámica Celular, Instituto de Investigación en Ciencias Básica y Aplicadas.

³ Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus IV, Entronque Carretera Costera y Huehuetán Pueblo, s/n, Huehuetán, 30660, Chiapas, México.

*Autor para correspondencia: gloria.perez@docentes.uaem.edu.mx

Fecha de recepción:

30 de marzo de 2025

Fecha de aceptación:

24 de noviembre de 2025

Disponible en línea:

4 de diciembre de 2025

Este es un artículo en acceso abierto que se distribuye de acuerdo a los términos de la licencia Creative Commons.



Reconocimiento-

NoComercial-

CompartirIgual 4.0

Internacional

(CC BY-NC-SA 4.0)

RESUMEN

El zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E.Moore & Stearn] es nativo de México y su fruto tiene gran aceptación por los consumidores debido a sus características organolépticas, aporte nutricional y nutraceuticos. Se realizó un estudio de los cambios físicos, químicos, fisiológicos y nutracéuticos desde el cuajado de fruto hasta su madurez de consumo. La madurez fisiológica se alcanzó 600 d después de floración y la madurez de consumo, luego de 612 d. En el crecimiento del fruto, no se detectó etileno, además que la respiración, vitamina C y carotenoides se incrementaron; los sólidos solubles totales y pH se mantuvieron entre 7.5 %-11.7 % y 5 %-6 %, respectivamente; la acidez titulable, el color de la epidermis, los compuestos fenólicos y actividad antioxidante disminuyeron. En poscosecha, la respiración y producción de etileno, sólidos solubles totales, carotenoides y actividad antioxidante (ABTS y FRAP) se incrementaron, mientras que la acidez titulable, compuestos fenólicos, color y actividad antioxidante por DPPH disminuyeron. La luminosidad, cromaticidad, matiz, carotenoides y compuestos fenólicos totales son las características idóneas para desarrollar un índice de cosecha espectrofotométrico.

PALABRAS CLAVE

Índice de cosecha, sólidos solubles totales, carotenoides totales, fenoles totales, matiz.

ABSTRACT

Sapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E.Moore & Stearn] tree is native to Mexico and its fruit is highly appreciated by consumers due to its organoleptic properties, nutritional value and nutraceutical benefits. A study was conducted to evaluate the physical, chemical, physiological, and nutraceutical changes from fruit set to ripening for consumption. Physiological maturity reached 600 d after flowering, and consumption maturity at 612 d. During fruit development, no ethylene was detected, while respiration, vitamin C, and carotenoids increased; total soluble solids and pH remained between 7.5 %-11.7 % and 5 %-6 %, respectively; titratable acidity, peel color, phenolic compounds, and antioxidant activity decreased. Postharvest, respiration and ethylene production, total soluble solids, carotenoids, and antioxidant activity (ABTS and FRAP) increased, whereas titratable acidity, phenolic compounds, color, and antioxidant activity by DPPH decreased. Luminosity, chromaticity, hue, carotenoids, and total phenolic compounds were identified as ideal characteristics for developing a spectrophotometric harvest index.

KEYWORDS

Harvest index, soluble solids total, total carotenoids, phenolic compounds, hue angle.

INTRODUCCIÓN

El zapote mamey, *Pouteria sapota* (Jacq.) H.E.Moore & Stearn (Sapotaceae), es un frutal originario del sur de México y del norte de Nicaragua en América Central (Morton, 2013). En México, su distribución abarca la vertiente del Pacífico desde Sinaloa hasta Chiapas; la región del Golfo de México, de Tamaulipas a Tabasco; la Península de Yucatán; así como el sur de Morelos, Guanajuato, Estado de México, Puebla, el oriente de San Luis Potosí y el norte de Hidalgo y Querétaro (Núñez-Colín et al., 2017). El fruto del zapote mamey se consume fresco y en productos procesados como jaleas o mermeladas (Sánchez-Zárate et al., 2022), debido a sus características organolépticas, nutricionales y funcionales. En México, se tienen establecidas alrededor de 2,105.5 ha, con un rendimiento promedio de 16.6 t ha⁻¹. Los principales estados productores son Yucatán, Guerrero y Tabasco, los cuales concentran el 68.6 % de la superficie total cultivada (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, s. f.).

Alia-Tejacal et al. (2007) indican que el fruto de zapote tiene concentraciones altas en vitaminas A y C, minerales como calcio y potasio, así como un elevado contenido energético (5,066-5,610 kJ kg⁻¹). Recientemente, otros autores han destacado su contenido de fibra, ácido ascórbico, carotenoides (con actividad provitamina A) y compuestos fenólicos con posible potencial terapéutico para la prevención de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo, como desórdenes gastrointestinales, metabólicos, neuropsicológicos, cardiovasculares y diabetes mellitus tipo 2 (Alia-Tejacal et al., 2022; Jiménez et al., 2022).

El fruto de mamey es una baya monosperma cuya forma puede ser ovoide, elíptica o redonda, con longitudes que van de 8 a 23 cm y diámetros entre 10 a 16 cm, alcanzando pesos de 230 a 2,300 g (Paull y Duarte, 2012). El color de la pulpa varía de naranja, naranja salmón y rojo a rojo oscuro y amarillo oscuro. En la madurez de consumo, la pulpa es dulce y suave, con sabor almendrado y una cantidad de fibra variable según el cultivar (Paull y Duarte, 2012).

En México, el periodo de crecimiento del fruto del zapote mamey varía entre 14 y 15.6 meses (Yucatán y Guerrero), y entre 18 y 20 meses (Morelos). En otros países se han reportado períodos superiores a un año y hasta 24 meses, influidos por factores como condiciones

climáticas, genotipo y época de floración (Alia-Tejacal et al., 2022; Davenport y O'Neal, 2001; Paull y Duarte, 2012). El fruto presenta un crecimiento sigmoidal y se considera climatérico, ya que se cosecha en madurez fisiológica y alcanza la madurez de consumo entre 3 y 10 d después (Alia-Tejacal et al., 2022).

Durante el crecimiento del fruto en algunas variedades y tipos criollos, se han evaluado cambios básicos como dimensiones y masa del fruto (Davenport y O'Neal, 2001; Sandoval-Maruri et al., 2006), así como cambios anatómicos (Alia-Tejacal et al., 2022). Arenas-Ocampo et al. (2003) y Villanueva-Arce et al. (2000) cosecharon frutos con edades entre 340-460 y 374-477 días después de la antesis (dda) respectivamente, evaluando durante la maduración diversas variables físicas, químicas, fisiológicas y enzimáticas para identificar aquellas relacionadas con la obtención de una madurez de consumo adecuada. En la etapa de poscosecha se ha concentrado la mayor parte de los estudios, principalmente en los cambios fundamentales del fruto y en la aplicación de diversas tecnologías poscosecha (Alia-Tejacal et al., 2007; Alia-Tejacal et al., 2022).

Sin embargo, aún no se ha realizado un estudio continuo que abarque tanto la etapa de crecimiento como la postcosecha, integrando los cambios en los parámetros de color (Luminosidad L*, cromaticidad C* y matiz h) en epicarpio y pulpa; las variaciones en acidez titulable (AT); sólidos solubles totales (sst) y su relación o índice de sabor (is); la velocidad de respiración (VR) y producción de etileno (PE); así como los cambios en moléculas determinantes de la calidad e importancia nutricional del fruto, tales como carotenoides, compuestos fenólicos totales, vitamina C y actividad antioxidante. Tampoco se han establecido relaciones entre estos parámetros que permitan comprender con mayor precisión los cambios dinámicos que ocurren durante el crecimiento del fruto de zapote mamey. Este conocimiento básico podría contribuir en el futuro a consolidar un índice de cosecha objetivo para este fruto tropical —que comienza a exportarse hacia Europa— y respaldar la toma de decisiones en diversas prácticas de manejo agronómico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron seis árboles de zapote mamey injertados con materiales criollos de la región, con una

edad de 9 años. Los árboles se ubicaron en huertas comerciales de Coatlán del Río, Morelos, México (Sandoval-Maruri et al., 2006) y presentaron un diámetro de tallo similar (0.50 cm). En cada árbol se recolectaron cinco frutos provenientes de la parte media de las ramas en cada punto cardinal. Los frutos fueron colocados en bolsas de plástico dentro de una hielera y transportados al laboratorio para su evaluación como muestras simples o compuestas. Los muestreos se realizaron cada 30 d durante el desarrollo del fruto y cada 3 d durante la etapa de postcosecha. El inicio de los muestreos se estimó después de 150 d de la floración (Sandoval-Maruri et al., 2006).

En cada fruto se determinó el diámetro polar y ecuatorial mediante un vernier (6071 Truper®, México) con sensibilidad de 0.01 mm, así como la masa al utilizar una balanza digital (OHAUS®, Estados Unidos) con sensibilidad de 0.01 g. Posteriormente, se cuantificaron los parámetros de color —luminosidad (L^*), cromatidad (C^*) y matiz (h)— en el epicarpio y mesocarpo, midiendo tres puntos cercanos a la zona ecuatorial con un espectrofotómetro manual (X-Rite 3290®, Estados Unidos) (Neguerula, 2012).

La VR (CO_2) y PE se cuantificaron mediante un sistema estático, como lo indicaron García-González et al. (2016). Los SST y AT se determinaron moliendo 1 g de pulpa con 10 mL de agua destilada. El homogenizado se filtró, y dos gotas del filtrado se colocaron en un refractómetro digital (ATAGO PAL-1®, Japón) para cuantificar los SST (%). La AT se determinó a partir de 5 mL del filtrado, añadiendo tres gotas de fenolftaleína y titulando con NaOH 0.1 N; los resultados se expresaron como porcentaje de ácido málico. En el mismo filtrado se midió el pH con un potenciómetro (Conductronic PC 18®, México). El IS se obtuvo mediante la relación SST/AT.

Los compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante (DPPH, ABTS y FRAP) se determinaron en extractos acuosos (1 g de pulpa en 10 mL de agua destilada) siguiendo metodologías estándar (Arvouet-Grand et al., 1994; Benzie y Strain, 1996; Brand-Williams et al., 1995; Singleton et al., 1999; Re et al., 1999). La extracción y cuantificación de carotenoides totales se realizó de acuerdo con Rodríguez-Amaya y Kimura (2004). La vitamina C se determinó con el reactivo de Folin, siguiendo el método de Jagota y Dani (1982). Para las variables de compuestos fenólicos, carotenoides totales y actividad antioxidante, se tuvieron

seis muestras compuestas; se recolectaron cuatro, dos y un fruto por árbol, dependiendo del tamaño del fruto, formándose así una unidad experimental con seis repeticiones.

Con los datos obtenidos se graficaron los promedios de cada muestreo con su error estándar. Se realizó un análisis de varianza de una sola vía para las etapas de desarrollo y maduración poscosecha. Asimismo, se efectuaron correlaciones simples entre las variables evaluadas en ambas etapas. El software utilizado fue SigmaPlot V. 15.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dimensiones, peso y producción de gases

El diámetro polar y ecuatorial de los frutos de zapote mamey permitió identificar tres fases de crecimiento: lento (150-270 ddf), exponencial (300-480 ddf) y desaceleración (510-600 ddf) (Figura 1A y 1B). La cinética de crecimiento confirmó el patrón sigmoidal reportado para esta especie (Arenas-Ocampo et al., 2003; Sandoval-Maruri et al., 2006). En México, se ha señalado que el crecimiento del fruto, desde la antesis hasta la cosecha, dura entre 14 y 20 meses (Alia-Tejacal et al., 2022). En nuestro estudio, el periodo de floración a cosecha fue de 20 meses, coincidiendo con Sandoval-Maruri et al. (2006). Una vez cosechados, los frutos no mostraron cambios significativos en sus dimensiones (Figura 1A y 1B). Algunas deformaciones observadas se atribuyeron al ablandamiento y pérdida de agua.

Entre 150 ddf y 270 ddf, el peso promedio de los frutos aumentó entre 16.7 g y 63.2 g; posteriormente, entre 300 ddf y 510 ddf, se incrementó significativamente de 94.8 g a 390 g, alcanzando 505 g en la cosecha (Figura 1C). La acumulación diaria de masa en las etapas lenta, exponencial y desaceleración fue de 0.38 g d^{-1} , 1.4 g d^{-1} y 1.2 g d^{-1} (Figura 1C). La masa del zapote mamey se ha reportado entre 242 g y 1,500 g, diferencias atribuibles a la variedad y condiciones de crecimiento (Alia-Tejacal et al., 2022). En poscosecha, el peso disminuyó significativamente: a los 12 d los frutos perdieron 21.7 % de su masa con respecto a la cosecha (1.8 \% d^{-1}) (Figura 1C), coincidiendo con valores de $1.8\text{-}2.1 \text{ \% d}^{-1}$ reportados por Alia-Tejacal et al. (2007). Durante el crecimiento, la masa del fruto mostró asociaciones positivas con las dimensiones, el pH, la respiración y los carotenoides totales

(Cuadro 1). En poscosecha, la masa se correlacionó negativamente con la producción de etileno, SST, acidez titulable, IS, carotenoides totales y actividad antioxidante, lo cual puede deberse a que el incremento de tamaño diluye la concentración de algunas moléculas.

La producción de CO₂ se mantuvo estable entre los 240 ddf y 480 ddf; a los 510 ddf se registró un máximo, seguido de una disminución al finalizar el crecimiento del fruto (Figura 1D). En pistache (*Pistacia vera L.*), el incremento respiratorio durante el crecimiento coincide con la formación de la semilla (Crane, 2018). En zapote mamey, la proporción final de la semilla se alcanza entre diciembre y enero (Sandoval-Maruri et al., 2006), coincidiendo con el máximo de CO₂ en torno de los 510 ddf (Figura 1D). En poscosecha, la respiración aumentó y alcanzó su máximo a los 11 d después de la cosecha (Figura 1D). Alia-Tejacal et al. (2022) indican que el zapote mamey presenta un comportamiento climatérico. La respiración elevada durante crecimiento y maduración se asocia a procesos como ablandamiento, síntesis de pigmentos y producción de volátiles (Salveit, 2019). En este estudio, la respiración durante el crecimiento se correlacionó, positivamente, con las dimensiones del fruto y luminosidad de la pulpa, negativamente, con la luminosidad del epicarpio y cromaticidad de pulpa y la acidez titulable (Cuadro 1). En postcosecha, no mostró asociación con ninguna variable (Cuadro 2), lo cual coindice con Salveit (2019), quien indica que el aumento respiratorio poscosecha puede ser más un artefacto de la maduración que un componente esencial del proceso.

Por otra parte, el etileno no fue detectado durante el desarrollo del fruto (Figura 1E). Tras la cosecha, su producción aumentó significativamente y alcanzó un máximo a los 9 d (Figura 1E), confirmando el típico climaterio reportado para esta especie (Alia-Tejacal et al., 2022). La ausencia de etileno durante el desarrollo del fruto se atribuye a mecanismos reguladores que limitan su producción en esta etapa (Varga y Bruinsma, 2018). En postcosecha, el incremento se atribuye a la autocatálisis propia de los frutos climatéricos, que induce la expresión de genes relacionados con aromas, enzimas de pared celular, respiración climatérica, entre otros (Watkins, 2017). De acuerdo con el análisis de correlación, el etileno mostró asociación negativa y significativa con la masa y compuestos fenólicos, y asociación positiva significativa con la actividad antioxidante (FRAP y ABTS) (Cuadro 2).

Parámetros de color en epidermis y mesocarpo

La luminosidad del epicarpio a los 150 ddf disminuyó significativamente hasta los 420 ddf y posteriormente aumentó hacia la cosecha (Figura 2A). En poscosecha, la luminosidad del epicarpio se mantuvo sin cambios (Figura 2A). La cromaticidad a los 150 ddf también disminuyó significativamente hasta los 420 ddf y después aumentó hasta la cosecha (Figura 2B). En poscosecha, los frutos conservaron valores similares de cromaticidad (Figura 2B). El matiz de la epidermis no mostró cambios significativos durante el crecimiento y maduración del fruto (Figura 2C).

Durante el crecimiento del fruto, la cromaticidad y luminosidad de la epidermis mostraron asociaciones moderadas a fuertes y negativas con la masa y dimensiones del fruto, con el IS y la respiración; únicamente con la AT mostraron una asociación positiva y significativa (Cuadro 1). En poscosecha, la luminosidad y la cromaticidad de la epidermis no se asociaron con ninguna variable evaluada (Cuadro 2). El matiz no mostró asociación con otras variables durante el crecimiento (Cuadro 1); sin embargo, en poscosecha se asoció positivamente con la masa del fruto y el matiz de pulpa, y negativamente con el contenido de carotenoides (Cuadro 2). Considerando los valores de los componentes del color, la epidermis del zapote mamey presentó una tendencia hacia un tono naranja opaco con luminosidad media ($h = 60$, $C^* = 35$ y $L^* = 54$) al inicio del desarrollo, y evolucionó hacia un color naranja significativamente más opaco y menos luminoso ($h = 60$, $C^* = 30$ y $L^* = 50$; Figura 2). Estos resultados indican que la luminosidad y cromaticidad en epidermis podrían emplearse para desarrollar un índice objetivo de color mediante equipos de detección de dichos parámetros; no obstante, es necesario validar estos resultados en otras variedades y condiciones de cultivo.

Por otro lado, la luminosidad de la pulpa aumentó significativamente hasta los 420 ddf, disminuyó en la cosecha y continuó decreciendo en postcosecha (Figura 3A). Torres-Rodríguez et al. (2011) reportan disminución postcosecha de la luminosidad en la pulpa de zapote mamey, asociada con cambios en la compartimentalización de organelos que favorecen el contacto entre enzimas como la polifenoloxidasa y los fenoles, lo que genera oscurecimiento.

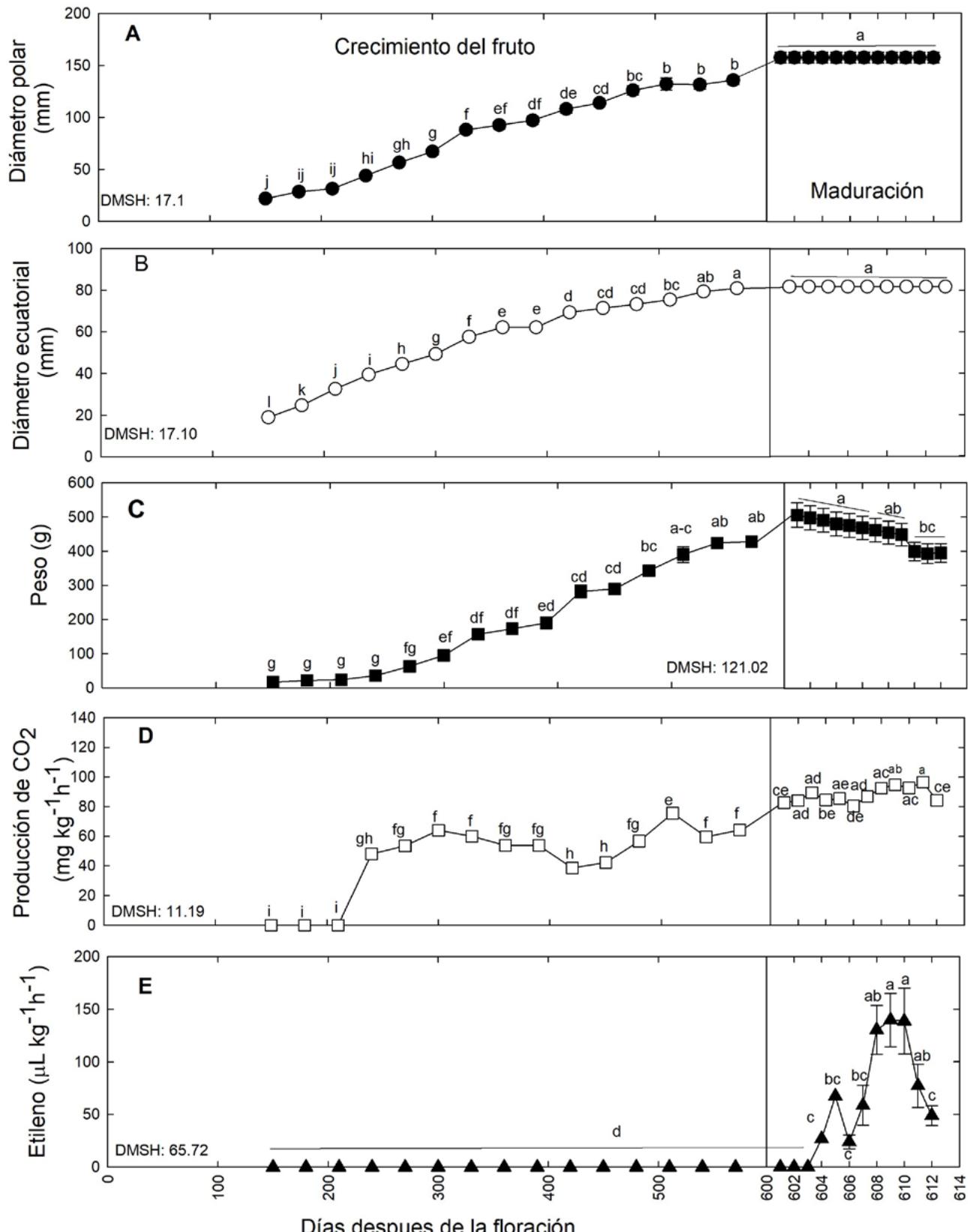


Figura 1. Cambios en diámetro polar (A), ecuatorial (B), peso (C), producción de etileno (D) y CO_2 (E) durante el crecimiento y maduración de frutos de zapote mamey cultivados en Coatlán del Río, Morelos, México. Cada punto representa la media de 24 observaciones y su error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

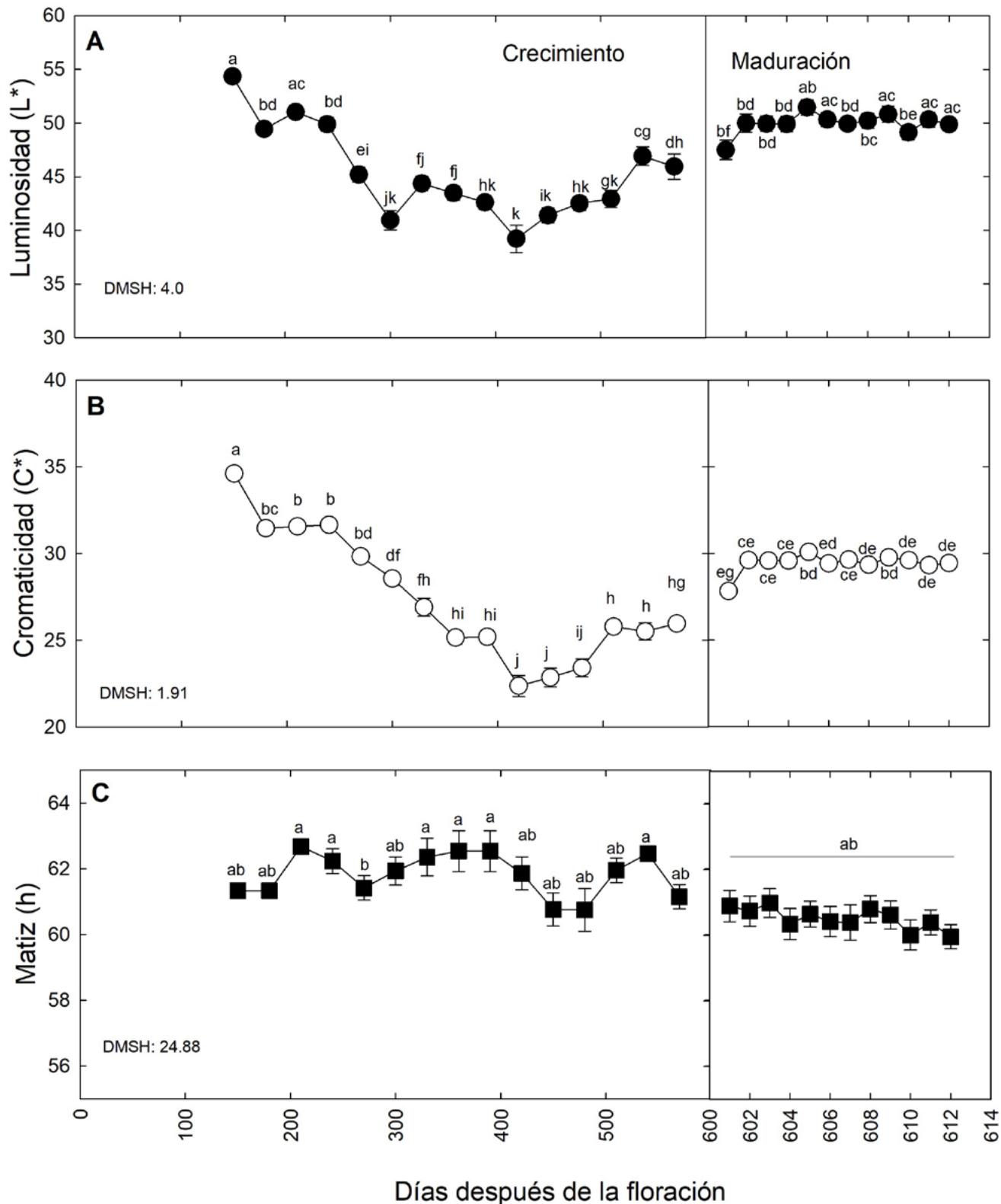


Figura 2. Cambios de la luminosidad (A), cromaticidad (B) y matiz (C) en el epicarpo de frutos de zapote mamey durante el crecimiento y maduración. Cada punto representa la media de 24 observaciones y su error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

La cromaticidad a los 150 ddf reflejó una pulpa opaca, incrementándose significativamente después de los 240 ddf; posteriormente disminuyó hasta los 420 ddf y volvió a aumentar cerca de la cosecha (570 ddf; Figura 3B). En postcosecha, la cromaticidad se intensificó durante la madurez de consumo, seguida de una disminución súbita durante la senescencia (Figura 3B). Alia-Tejacal et al. (2002) señalan que la cromaticidad disminuye conforme el fruto madura debido al oscurecimiento de este. Pérez-López et al. (2017) observaron pocos cambios de cromaticidad en frutos de forma redonda, pero cambios más marcados en los lanceolados, sugiriendo que este parámetro depende de factores endógenos de la variedad.

El matiz de la pulpa a los 150 ddf se ubicó cerca del amarillo, aproximándose aún más a este color a los 420 ddf; posteriormente cambió hacia tonos naranja en la cosecha (Figura 3C). Actualmente el índice de cosecha del zapote mamey se determina mediante un corte en la epidermis para observar si la pulpa muestra un color naranja o cercano al naranja, lo que indica que el fruto puede cosecharse y continuar su maduración (Alia-Tejacal et al., 2022). No obstante, este método causa daño al fruto, puede afectar sus procesos de maduración y depende de la percepción subjetiva del evaluador. En postcosecha, después de 11 d, el color de la pulpa tendió al rojo ($h = 47$) (Figura 3C). Torres-Rodríguez et al. (2011) reportan valores de $h = 56.4$ en madurez fisiológica, seguidos de una disminución sigmoidal del matiz después de 11-12 d de postcosecha, alcanzando $h = 46.3$, lo cual es un comportamiento similar al observado en este estudio.

El matiz fue el parámetro de color de la pulpa que presentó el mayor número de asociaciones durante el crecimiento del fruto, principalmente con acidez titulable, índice de sabor, carotenoides totales, compuestos fenólicos y actividades antioxidantes (DPPH, ABTS, FRAP y vitamina c) (Cuadro 1). En postcosecha, se asoció con la masa del fruto, SST, IS y carotenoides totales (Cuadro 2). Durante el crecimiento, el color de la pulpa cambió de amarillo vívido y opaco ($h = 80$, $C^* = 23$ y $L^* = 60$) a un amarillo vívido con mayor luminosidad ($h = 72.8$, $C^* = 30.8$ y $L^* = 70$). En postcosecha, la pulpa presentó un color naranja vívido de opacidad media ($h = 60$, $C^* = 35$ y $L^* = 70$), que evolucionó hacia un rojo vívido de mayor opacidad ($h = 47$, $C^* = 18$ y $L^* = 60$). Estos resultados sugieren que, para establecer un índice de color objetivo en zapote mamey, pueden emplearse técnicas espectrofotométricas como el infrarrojo cercano (Walsh y Anderson, 2020).

Solubles totales (SST), acidez titulable (AT), índice de sabor (IS) y pH

Los SST durante el crecimiento del fruto de zapote mamey se mantuvieron entre 7.5 % y 11.5 % entre 150 ddf y 300 ddf, posteriormente disminuyeron significativamente hasta 6.7 % a los 570 ddf (Figura 4A). En postcosecha, entre los 1 d y 6 d de cosechados, los SST se cuantificaron entre 4.0 % y 8.2 %. A los 12 d de la cosecha se alcanzó 26.5 % (Figura 4B). Arenas-Ocampo et al. (2003) reportan que los SST se incrementan significativamente entre la fase climática (12.7 %) y la fase posclimática (32.2 %), comportamiento similar al observado en el presente estudio. Villanueva-Arce et al. (2000) reportan frutos durante dos temporadas en Coatlán del Río, con una edad estimada entre 340 ddf, 460 ddf o > 460 ddf; el contenido de SST fue de 10 %, 12 % y 13.8 %, respectivamente. Díaz-Pérez et al. (2003) señalan que los frutos de zapote mamey cosechados con un contenido de SST entre 10 % y 12 % maduraron adecuadamente, alcanzando hasta 30 %. Considerando los resultados del presente estudio, se sugiere que la cosecha de frutos de zapote mamey con más de 6.7 % de SST permitirá alcanzar madurez de consumo con buena cantidad de dulzura (> 26 %). En nuestro estudio, los SST no se correlacionaron con ninguna otra variable durante el crecimiento del fruto (Cuadro 1); sin embargo, en postcosecha se correlacionaron alta, positiva y significativamente con el IS y la actividad antioxidante evaluada por FRAP (Cuadro 2).

Durante el crecimiento de los frutos, al inicio de los muestreos, la AT registró en promedio valores de 0.59 %. Después de 420 ddf disminuyó un 74.5 % con respecto al valor inicial y posteriormente se incrementó, alcanzando valores de 0.40 % (Figura 4C). La AT se relacionó de manera moderada y negativa con las dimensiones de los frutos, pero positivamente con L^* y C^* de la epidermis (Cuadro 1). Villanueva-Arce et al. (2000) reportan que la AT disminuye conforme los frutos alcanzan la fase de cosecha. En postcosecha, los frutos de zapote mamey mostraron valores constantes entre 0.20 % y 0.25 % (Figura 4C), y no se detectaron correlaciones ninguna otra variable. Arenas-Ocampo et al. (2003) no reportan cambios durante la maduración de la AT, manteniéndose entre 0.11 % y 0.17 %. Por otra parte, Alia-Tejacal et al. (2002) indican que, en frutos de zapote mamey madurados a temperatura ambiente, la acidez disminuye de 0.3 % a 0.20 %.

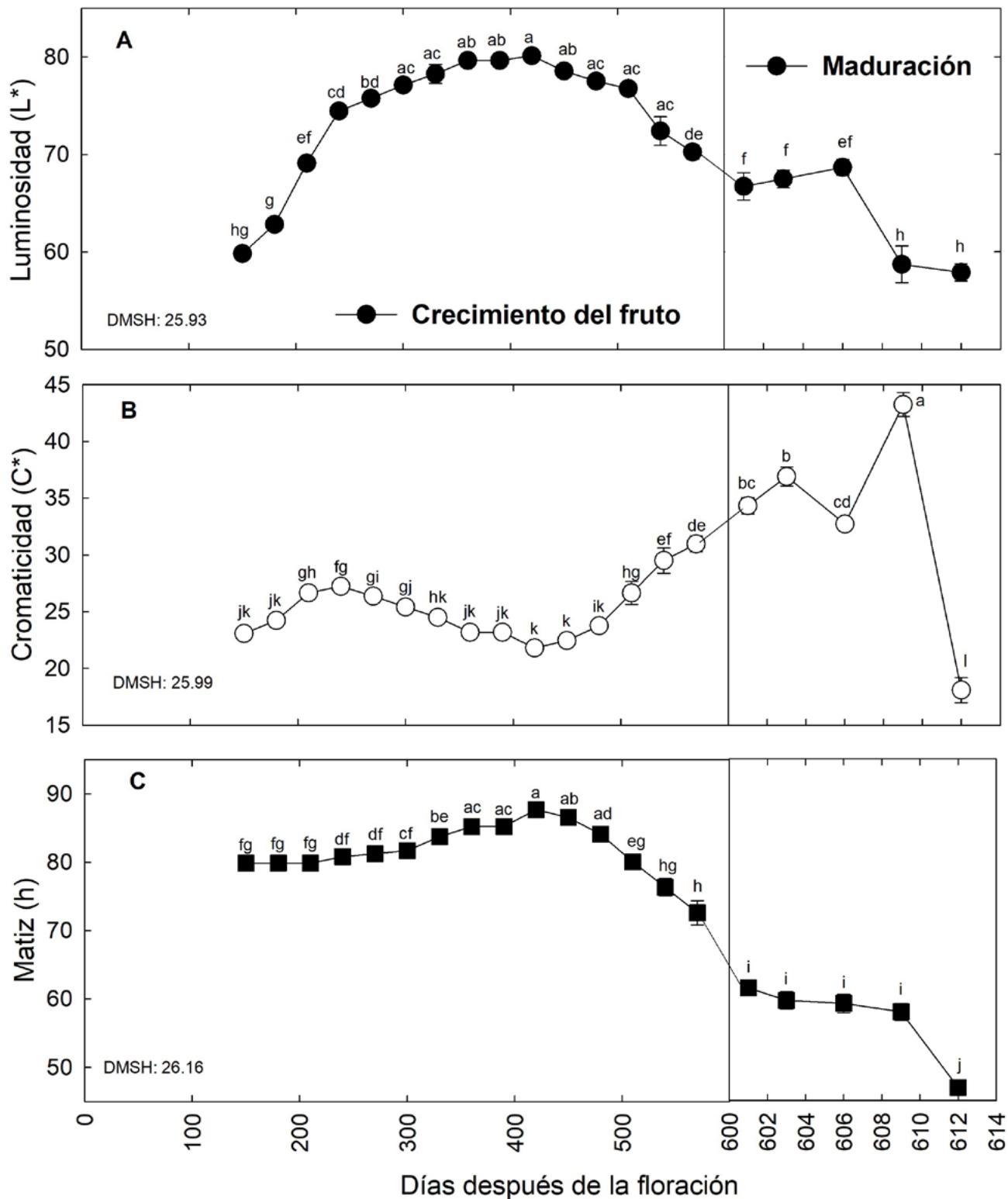


Figura 3. Cambios de la luminosidad (A), cromaticidad (B) y matiz (C) en el mesocarpio de frutos de zapote mamey durante el crecimiento y maduración de frutos. Cada punto representa la media de 24 observaciones y su error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

Cuadro 1. Correlaciones simples durante el crecimiento del fruto.

	DP	DE	MASA	LM	CM	HM	LE	CE	HE	SST	AT	IS	pH	RESP	FEN	CAROT	DPPH	ABTS	FRAP	VITC	
DP	1	0.98***	0.96***	0.58*	ns	ns	-0.65**	-0.88***	ns	ns	ns	ns	ns	0.75**	ns	0.63*	ns	-0.59*	ns	ns	
DE		1	0.94***	0.65**	ns	ns	-0.68**	-0.90***	ns	ns	-0.56*	ns	ns	0.78**	ns	0.58*	ns	-0.60*	ns	ns	
MASA			1	ns	ns	ns	-0.54*	-0.79**	ns	ns	ns	ns	0.54*	0.63*	-0.56*	0.76**	ns	-0.65**	ns	ns	
LP				1	ns	0.60*	-0.74**	-0.74**	ns	ns	-0.90***	0.72**	ns	0.73**	ns	ns	ns	ns	ns	0.54*	
CP					1	-0.91*	ns	ns	ns	ns	ns	-0.61*	ns	ns	-0.66**	0.75**	-0.80**	-0.74**	-0.88***	-0.49	
HP						1	ns	ns	ns	ns	-0.65**	0.75**	ns	ns	0.75**	-0.72**	0.72**	0.66**	0.84***	0.58*	
LC							1	0.78**	ns	ns	0.74**	-0.50*	ns	-0.61*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
CC								1	ns	ns	0.74**	-0.52*	ns	-0.59*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
HC									1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
SST										1	ns	0.72**	-0.67**	ns	0.73**	-0.62*	ns	ns	ns	ns	ns
AT											1	-0.81**	ns	-0.55*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
IS												1	ns	0.76**	-0.52*	ns	ns	ns	ns	0.62*	
pH													1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
RESP														1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
FEN															1	-0.86***	0.60*	0.57*	ns	0.58*	
CAROT																1	-0.68**	-0.80**	-0.65**	ns	
DPPH																	1	0.74*	0.82***	ns	
ABTS																		1	0.69**	ns	
FRAP																			1	ns	
VITC																				1	

DP = diámetro polar, DE = diámetro ecuatorial, LM y LE = luminosidad de mesocarpio y epicarpio, CM y CE = cromaticidad de mesocarpio y epicarpio, HM y HE = matiz de mesocarpio y epicarpio, SST = Sólidos solubles totales, AT = acidez titulable, IS = índice de sabor, pH = potencial de iones hidrógeno, RESP = respiración, FEN = compuestos fenólicos, CAROT = carotenoides totales, DPPH, ABTS y FRAP = Actividad antioxidante por el método de DPPH, ABTS y FRAP, VITC = vitamina C. *, **, *** y ns: Significativo a 0.05, 0.01, <0.0001 y no significativo de acuerdo a la prueba de Pearson.

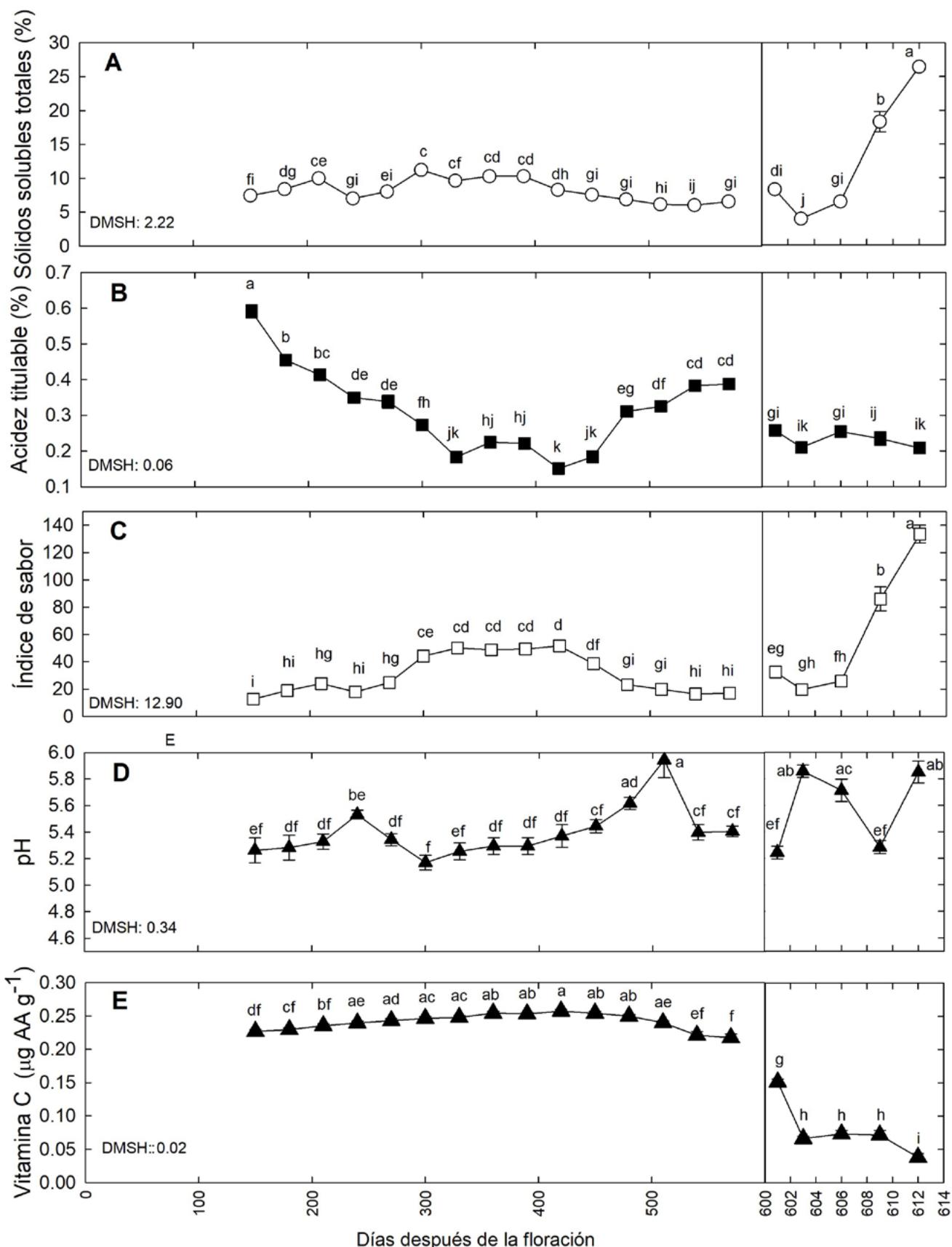


Figura 4. Cambios en SST (A), AT (B), IS (C), pH (D) y vitamina c (E) en el mesocarpo de frutos de zapote mamey durante el crecimiento y maduración. Cada punto representa la media de 24 observaciones y su error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

Después de 150 ddf, el IS fue de 22; a los 350 ddf llegó a 50 y disminuyó hasta 30, cercano a la cosecha (Figura 4D). En poscosecha, el fruto mostró valores de 45 a 48 en el índice de sabor durante los primeros 6 d de evaluación, alcanzando 140 en la madurez de consumo (Figura 4D). Durante el crecimiento, el IS se correlacionó con los compuestos fenólicos y la vitamina C, y negativamente con los carotenoides (Cuadro 1). En poscosecha no se detectaron asociaciones con ninguna variable (Cuadro 2). Los cambios en los ácidos orgánicos durante el crecimiento influyeron en el IS y en el comportamiento de varias moléculas y pigmentos.

Durante el crecimiento del fruto, el pH se mantuvo entre 5.1 y 5.9, detectándose dos máximos a los 240 ddf y 510 ddf (Figura 4E). En poscosecha, el pH se determinó entre 5.0 y 6.0, sin observarse un patrón definido de comportamiento (Figura 4 E). Lo anterior indica que el pH del zapote mamey es ligeramente ácido, y los incrementos de este se deben a los cambios de carbohidratos a azúcares y al uso de ácidos orgánicos en el metabolismo (Hailu y Bekele, 2024).

La vitamina C durante el crecimiento de los frutos de zapote mamey se incrementó significativamente desde los 150 ddf hasta los 420 ddf, y posteriormente disminuyó hasta la cosecha (Figura 4E). Una vez cosechados, y durante la maduración, disminuyó drásticamente (Figura 4E). El incremento de vitamina C durante el crecimiento del fruto se atribuye a una mayor velocidad de biosíntesis asociada con la etapa de desarrollo del fruto (Deng et al., 2022). En el zapote mamey, después de la cosecha, su disminución fue drástica, por lo que es necesario implementar tecnologías postcosecha para evitar su rápida degradación. La vitamina C mostró asociación moderada y positiva con el índice de sabor y parámetros de color en la epidermis durante el crecimiento (Cuadro 1). Además, se detectó una asociación moderada, positiva y significativa durante el crecimiento, y alta en poscosecha, entre vitamina C y compuestos fenólicos (Cuadro 2). Los precursores de la vitamina C se encuentran generalmente en la vacuola junto con una gran proporción de compuestos fenólicos, por lo que cambios en estos últimos o la estructura de la vacuola pueden afectar significativamente la vitamina C (Abeysuriya et al., 2024).

Carotenoides, compuestos fenólicos y actividad antioxidante (DPPH, ABTS y FRAP)

La concentración de carotenoides totales mostró un patrón estrechamente asociado a las etapas de crecimiento del fruto. A los 150 ddf fue de 0.6 mg 100 g⁻¹, después de 450 ddf, se incrementó de 0.9 mg 100 g⁻¹ hasta 3 mg 100 g⁻¹ a los 600 ddf (Figura 5A). En poscosecha, el contenido de carotenoides incrementó de 2.9 mg 100 g⁻¹ a 3.9 mg 100 g⁻¹ después de 12 d (Figura 5A). Villanueva-Arce et al. (2000) reportan valores entre 11.3 mg 100 g⁻¹ y 37.0 mg 100 g⁻¹ de peso fresco en frutos de zapote mamey en madurez óptima, mientras que Alia-Tejacal et al. (2002) señalan rangos de 28.9 mg 100 g⁻¹ a 69.9 mg 100 g⁻¹ de peso fresco. Las discrepancias se atribuyen a las metodologías utilizadas y a las diferentes variedades evaluadas. Durante el crecimiento, los carotenoides se asociaron con dimensiones y peso del fruto, SST, AT, IS, respiración y actividad antioxidante evaluada por los tres métodos, lo que muestra que los carotenoides son indicadores importantes que pueden utilizarse para generar un índice objetivo de cosecha. Además, proporcionan moléculas con alta capacidad antioxidante, lo que resulta beneficioso para el consumidor. Recientemente, López-Morales et al. (2023) detectaron la humedad y los carotenoides totales en pulpa de mamey fresca y deshidratada mediante técnicas espectroscópicas como luz infrarroja, Terahertz y Raman, sugiriendo su potencial uso en el desarrollo de índices objetivos de cosecha. Los compuestos fenólicos al inicio de los muestreos cuantificaron 2.3 mg g⁻¹ alcanzando un máximo de 2.9 mg g⁻¹ a los 330 ddf y posteriormente disminuyeron hasta 1.8 mg g⁻¹ después de 570 ddf (Figura 5B). En el fruto de zapote mamey, los compuestos fenólicos probablemente cumplen una función protectora durante el desarrollo del fruto y disminuyen al final para favorecer la acción de los dispersores de semillas. El análisis de correlación detectó asociación de los compuestos fenólicos con el matiz de pulpa, SST, IS, carotenoides totales, actividad antioxidante por DPPH, ABTS y vitamina C (Cuadro 1), lo que indica que pueden ser utilizados como indicadores de la madurez del fruto.

En poscosecha, los frutos iniciaron 1.5 mg g⁻¹ (601 ddf) y disminuyeron 0.5 mg g⁻¹ en la madurez de consumo (612 ddf) (Figura 5B). Torres-Rodríguez et al. (2011) reportaron disminución significativa de los compuestos fenólicos de 2.5 mg g⁻¹ en madurez fisiológica

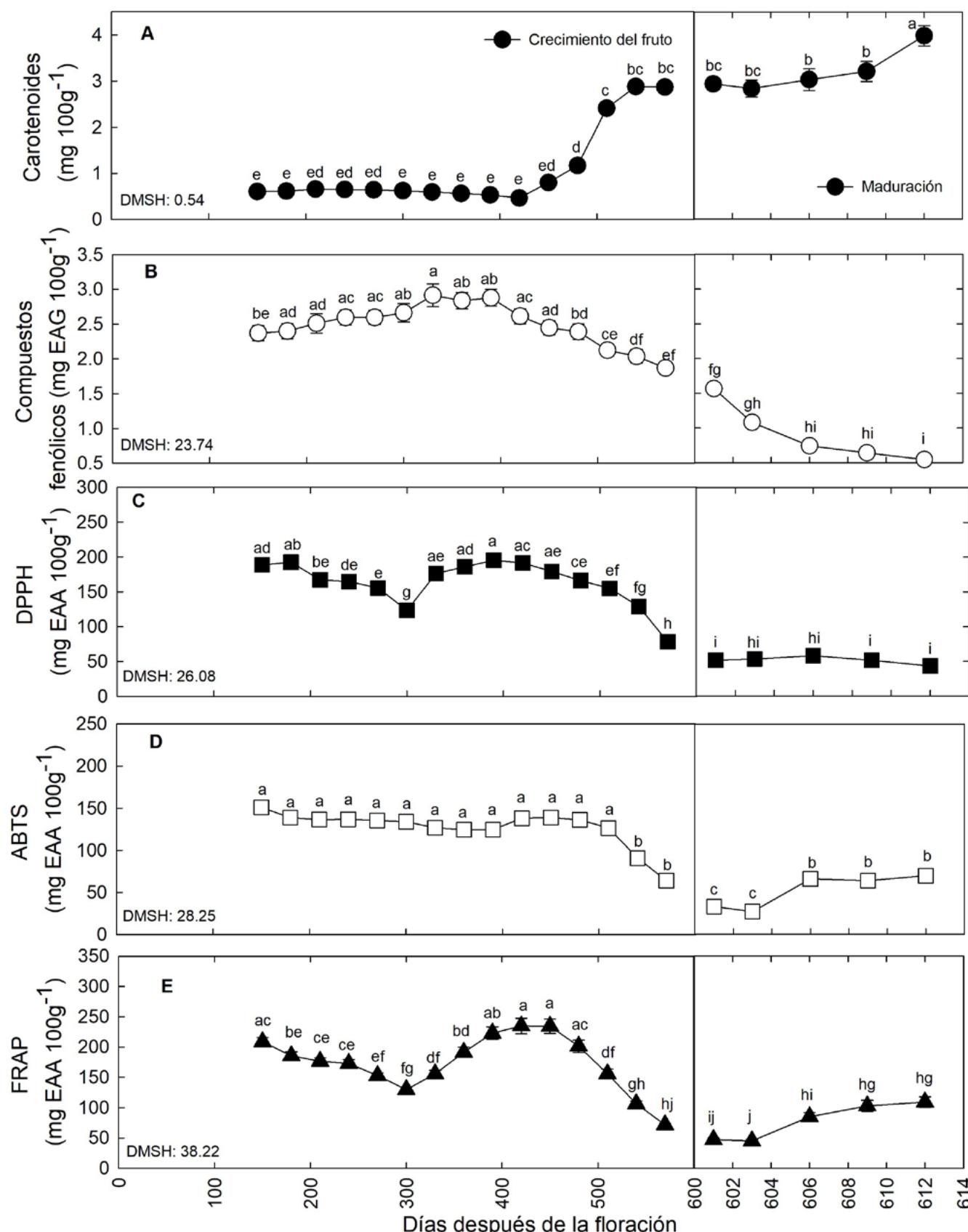


Figura 5. Cambios en carotenoides (A), compuestos fenólicos (B), actividad antioxidante por DPPH (C), ABTS (D) y FRAP (E) en el mesocarpio de frutos de zapote mamey durante el crecimiento y maduración. Cada punto representa la media de 24 observaciones y su error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

Cuadro 2. Correlaciones simples durante la maduración de frutos de zapote mamey.

	MASA	LC	CC	HC	RESP	ETIL	LP	CP	HP	SST	AT	IS	PH	FEN	CAROT	DPPH	ABTS	FRAP	VITC
MASA	1	ns	ns	0.92*	ns	-0.90*	ns	ns	0.94*	-0.91*	ns	-0.92*	ns	ns	-0.97**	ns	ns	-0.90*	ns
LC		1	0.97**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0.88*	ns	ns	ns	ns	ns
CC			1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0.88*	ns
HC				1	ns	ns	ns	ns	0.88*	ns	ns	ns	ns	-0.88*	ns	ns	ns	ns	ns
RESP					1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ETIL						1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0.89*	ns	ns	0.96**	0.99**	ns
LP							1	ns	ns	-0.95*	ns	-0.94*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CP								1	ns	ns	ns	-0.56	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
HP									1	-0.86*	ns	-0.89*	ns	ns	-0.95*	ns	ns	ns	ns
SST										1	ns	0.99**	ns	ns	ns	ns	ns	0.86*	ns
AT											1	-0.49*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
IS												1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PH													1	ns	ns	ns	ns	ns	ns
FEN														1	ns	ns	-0.87*	0.86*	
CAROT															1	ns	ns	ns	ns
DPPH																1	ns	ns	ns
ABTS																	1	-0.95*	ns
FRAP																		1	ns
VITC																			1

DP = diámetro polar, DE = diámetro ecuatorial, LM y LE = luminosidad de mesocarpio y epicarpio, CM y CE = cromatididad de mesocarpio y epicarpio, HM y HE = matiz de mesocarpio y epicarpio, SST = sólidos solubles totales, AT = acidez titulable, IS = índice de sabor, pH = potencial de iones hidrógeno, RESP = respiración, FEN = compuestos fenólicos, CAROT = carotenoides totales, DPPH, ABTS y FRAP = actividad antioxidante por el método de DPPH, ABTS y FRAP, VITC = vitamina C. *, **, ***: Significativo a 0.05, 0.01 y <0.0001 de acuerdo a la prueba de Pearson, ns= No significativo.

a 0.23 mg g⁻¹ de peso fresco en madurez de consumo. Alia-Tejacal et al. (2005) determinaron una disminución de fenoles totales de 1.65 mg g⁻¹ en madurez fisiológica a 0.646 mg g⁻¹ en madurez de consumo. Esta reducción se asocia con un incremento en la actividad enzimática y el oscurecimiento de la pulpa (Torres-Rodríguez et al., 2011). Durante la poscosecha, los compuestos fenólicos se relacionaron negativamente con la luminosidad de la pulpa y la producción de etileno, además de con la actividad antioxidante evaluada por FRAP, mientras que se correlacionaron positivamente con la vitamina C (Cuadro 2), corroborando su importancia en la calidad, aporte nutricional y nutracéutico del zapote mamey.

La actividad antioxidante determinada por el método DPPH a 150-180 ddf se mantuvo entre 188.7 y 192.5 mg 100 g⁻¹; en los muestreos subsecuentes disminuyó hasta 123 mg 100g⁻¹ a los 300 ddf; posteriormente se incrementó alcanzando su máximo a los 390 ddf con 195.4 mg 100 g⁻¹, y nuevamente disminuyó hasta 51.6 mg 100 g⁻¹ a los 600 ddf o cosecha. En poscosecha, no se detectaron cambios significativos en la actividad antioxidante evaluada por DPPH, manteniéndose entre 43.23 mg 100g⁻¹ y 58.1 mg 100g⁻¹ (Figura 5C). Estos resultados coinciden con lo reportado por Torres-Rodríguez et al. (2011), sugiriendo que la actividad antioxidante depende tanto de la cantidad como de la composición de los compuestos fenólicos.

La actividad antioxidante evaluada por ABTS se mantuvo constante entre 150 ddf y 510 ddf, disminuyendo significativamente hasta los 600 ddf o cosecha; en poscosecha, aumentó significativamente hasta la madurez de consumo (Figura 5D). Finalmente, la actividad antioxidante evaluada por FRAP mostró un comportamiento similar a DPPH durante el crecimiento: inicialmente alta a los 150 ddf, disminuyó hasta los 300 ddf, se incrementó alcanzando su máximo a los 450 ddf y disminuyó nuevamente en la cosecha (600 ddf) (Figura 5E). En poscosecha, la actividad por ABTS aumentó significativamente hasta la madurez de consumo (Figura 5E). Las variaciones en la actividad antioxidante se atribuyen a las transformaciones metabólicas que ocurren durante el desarrollo y maduración del fruto (Gaviria Montoya et al., 2012).

La actividad antioxidante por FRAP, DPPH y ABTS se asoció negativamente con la cromaticidad de la pulpa y el contenido de carotenoides, y positivamente con el matiz de pulpa y el contenido de compuestos fenólicos

durante el crecimiento (Cuadro 1). En postcosecha, la actividad antioxidante por ABTS y FRAP se relacionó positivamente con la producción de etileno, mientras que FRAP se relacionó negativamente con compuestos fenólicos, peso del fruto y SST (Cuadro 2). Los resultados sugieren que los cambios en compuestos fenólicos y carotenoides inciden en la actividad antioxidante y son importantes para definir su utilidad en el desarrollo de un índice objetivo de cosecha, así como en el aporte nutraceútico del fruto.

CONCLUSIONES

Durante el desarrollo del fruto de zapote mamey ocurren cambios físicos y químicos que pueden utilizar para establecer un índice objetivo de cosecha. Entre estos destacan la luminosidad, cromaticidad y matiz en cáscara y pulpa, así como el contenido de compuestos fenólicos y de carotenoides totales. En poscosecha, la producción de etileno es un factor determinante para mantener la calidad del fruto, ya que se asocia con variables relacionadas con la calidad y con el aporte de metabolitos funcionales.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece el apoyo de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) mediante la beca de manutención para el desarrollo de estudios de maestría (núm. 604967). Los demás autores agradecen el apoyo de la Secretaría de Educación Pública a través del Programa para el Desarrollo Profesional Docente y la SECIHTI por los apoyos parciales para desarrollar el presente trabajo.

LITERATURA CITADA

- Abeysuriya, H. I., Bulugahapitiya, V. P., & Jayatissa, L. P. (2024). Variation of vitamin C content and antioxidant capacities during the post-harvest storage of fresh fruits under different temperatures. *Journal of Stored Products Research*, 109, 102426. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2024.102426>
- Alia-Tejacal, I., Colinas-León, M. T., Martínez-Damián, M. T., & Soto-Hernández, M. R. (2002). Factores fisiológicos, bioquímicos y de calidad en frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* Jacq. H.E. Moore & Stearn) duran-

- te poscosecha. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 8(2), 263-281. <https://doi.org/105154/r.rchsh.2001.11.083>
- Alia-Tejacal, I., Colinas-León, M. T., & Soto-Hernández, R. M. (2005). Daños por frío en zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn]. II. Cambios en fenoles totales y actividad enzimática. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(1), 25-32. <https://doi.org/10.35196/rfm.2005.1.25>
- Alia-Tejacal, I., Villarreal Fuentes, J. M., Martínez Morales, A., & López Martínez, V. (2022). Zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn]. En C. F. Rivera & D. M. Raddatz (Eds.), *Postcosecha de cultivos nativos mexicanos subutilizados con alto potencial de comercialización* (pp. 571-605). Universidad Autónoma Metropolitana.
- Alia-Tejacal, I., Villanueva-Arce, R., Pelayo-Zaldívar, C., Colinas-León, M. T., López-Martínez, V., & Bautista-Baños, S. (2007). Postharvest physiology and technology of sapote mamey fruit (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn). *Postharvest Biology and Technology*, 45(3), 285-297. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.12.024>
- Arenas-Ocampo, M. L., Evangelista-Lozano, S., Arana-Errasquín, R., Jiménez-Aparicio, A., & Dávila-Ortíz, G. (2003). Softening and biochemical changes of sapote mamey fruit (*Pouteria sapota*) at different development and ripening stages. *Journal of Food Biochemistry*, 27(2), 91-107. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2003.tb00269.x>
- Arvouet-Grand, A., Vennat, B., Pourrat, A., & Legret, P. (1994). Standardisation d'un extrait de propolis et identification des principaux constituants. *Journal de Pharmacie de Belgique*, 49(6), 462-468.
- Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "Antioxidant Power": The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science Technology*, 28(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Crane, J. C. (2018). Pistachio. En S. P. Monselise (Ed.), *Handbook of Fruit Set and Development* (pp. 389-399). CRC Press.
- Davenport, T. L., & J. T. O'Neal. (2001). Flowering and fruit development patterns of five mamey sapote cultivars in south Florida. *Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture*, 44, 56-59.
- Deng, H., Xia, H., Guo, Y., Liu, X., Lin, L., Wang, J., Xu, K., Lv, X., Hu, R., & Liang, D. (2022). Dynamic changes in ascorbic acid content during fruit development and ripening of *Actinidia latifolia* (an ascorbate-rich fruit crop) and the associated molecular mechanisms. *International Journal of Molecular Science*, 23(10), 5808. <https://doi.org/10.3390/ijms23105808>
- Díaz-Pérez, J. C., Bautista, S., Villanueva, R., & López-Gómez, R. (2003). Modeling the ripening of sapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore and Stearn] fruit at various temperatures. *Postharvest Biology and Technology*, 28(1), 199-202. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00123-0](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00123-0)
- García-González, M., Alia-Tejacal, I., Rivera-Cabrera, F., de León-Sánchez, F. D., López-Martínez, V., Pérez-Flores, L. J., & Pelayo-Zaldívar, C. (2016). Refrigeración de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) 'Cuernavaqueña'. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 2(2), 27-33.
- Gaviria Montoya, C., Hernández Arredondo, J. D., Lobo Arias, M., Medina Cano, C. I., & Rojano, B. A. (2012). Cambios en la actividad antioxidante en frutos de Mortiño (*Vaccinium meridionale* Sw.) durante su desarrollo y maduración. *Revista Facultad de Agronomía*, 65(1), 6487-6495.
- Hailu, W., & Bekele, T. (2024). Quality and physio-chemical changes associated with processing and properties of fruits and vegetables. *Cogent Food & Agriculture*, 10(1), 2419957. <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2419957>
- 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)
- Jiménez, V. M., Chacón-Ordóñez, T., & Esquivel, P. (2022). Mamey sapote (*Pouteria sapota* Jacq.). En D. Sivakumar, M. Netzel & Y. Sultanbawa (Eds.), *Handbook of Phytonutrients in Indigenous Fruits and Vegetables* (pp. 455-469). CAB International. <https://doi.org/10.1079/9781789248067.0031>
- López-Morales, G., López-Páez, M. F., López, P., Carriles, R., & Vilchis, H. (2023). Detection of moisture ratio and carotenoid compounds in mamey (*Pouteria sapota*) fruit during dehydration process using spectroscopic techniques. *Journal of Food Science and Technology*, 60, 1952-1959. <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05728-w>
- Morton, F. J. (2013). *Fruits of Warm Climate*. Echo Point Books & Media.

- Neguerula, I. A. (2012). Is the color measured in food the color that we see? En J. L. Caivano & M. del P. Buera (Eds.), *Color in Food. Technological and Psychophysical Aspects* (pp. 81-91). CRC Press-Taylor & Francis Group.
- Núñez-Colín, C. A., Alia-Tejacal, I., Villarreal-Fuentes, J. M., Escobedo-López, D., Rodríguez-Nuñez, J. R., & Peña-Caballero, V. (2017). Distribution, eco-climatic characterization and potential cultivation zones of mamey sapote in Mexico. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 23(2), 75-88. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.05.014>
- Paull, R. E., & Duarte, O. (2012). *Tropical Fruits*. CABI.
- Pérez-López, A., I. Alia-Tejacal, Cano-Vázquez A., Rangel-Fajardo D. M., Valle-Guadarrama S., Villaseñor-Perea C. A., López-Blancas E., & Pérez-Arias G. A. (2017). Color and oxidative stress in the maturation of sapote mamey (*Pouteria sapota*) previous mechanical compression. *Revista Bio Ciencias*, 4(3), 189-201. <https://doi.org/10.15741/revbio.04.03.05>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26, 1231-1337. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Rodríguez-Amaya, D. B., & Kimura M. (2004). *Harvest PlusHanbook for Carotenoid Analysis*. International Food Policy Research Institute and International Center for Tropical Agriculture.
- Salveit, M. E. (2019). Respiratory metabolism. En E. M. Yahia & A. Carrillo-López (Eds.), *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables* (pp. 73-91). Woodhead Publishing.
- Sánchez-Zárate, A., Chay-Canul, A. J., Aguilar-Urquiza, E., Sanginés-García, J. R., Moo-Huchin, V. M., Bello-Pérez, E. V., & Piñeiro-Vázquez, Á. T. (2022). Effects of the inclusion of ground *Pouteria sapota* Kernel on intake, digestibility, and growth performance in Lambs. *Animals*, 12(22), 3154. <https://doi.org/10.3390/ani12223154>
- Sandoval-Maruri, E., Nieto-Ayala, E., Alia-Tejacal, I., López-Martínez V., Colinas-León, M. T., Martínez-Morales, A., Acosta-Durán, C. M., Andrade-Rodríguez, M., Villegas-Torres, O., & Guillén-Sánchez, D. (2006). Crecimiento del fruto de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn] en Morelos, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(Esp. 2), 59-62. https://doi.org/10.35196/rfm.2006.Especial_2.59
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (s. f.). *Cierre de la producción agrícola 1980-2023*. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods Enzymology*, 299, 152-178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Torres-Rodríguez, A., Salinas-Moreno, Y., Valle-Guadarrama, S., & Alia-Tejacal, I. (2011). Soluble phenols and antioxidant activity in mamey sapote (*Pouteria sapota*) fruits in postharvest. *Food Research International*, 44(7), 1956-1961. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.04.045>
- Varga, A., & Bruinsma, J. (2018). Tomato. En S. P. Monselise (Ed.), *Handbook of Fruit set and Development* (pp. 461-481). CRC Press.
- Villanueva-Arce, R., Evangelista-Lozano, S., Arenas-Ocampo, M. L., Díaz-Pérez, J. C., & Bautista-Baños, S. (2000). Cambios bioquímicos y físicos durante el desarrollo y postcosecha del mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn]. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 6(1), 63-72. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.1998.10.070>
- Walsh, K. B., & Anderson, N. T. (2020) Monitoring post-harvest attributes: instrumental techniques for measuring harvest maturity/fruit quality. En C. Watkins (Ed.), *Advances in postharvest management of horticultural produce* (pp. 355-389). Burleigh Doods.
- Watkins, C. B. (2017). Postharvest physiology of edible plants tissue. En D. Srinivasan & K. L. Parkon (Eds.), *Fennema's Food Chemistry* (pp. 1017-1085). CRC Press and Francis & Taylor Group.