

Efecto de la baja temperatura en el metabolismo de carbohidratos y calidad de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* [Jacq.] H.E. Moore & Stearn)

Effect of low temperature on carbohydrates metabolism and fruits quality of sapote mamey (*Pouteria sapota* [Jacq.] H.E. Moore & Stearn)

Betsaida Vázquez-Martínez¹, Iran Alia-Tejagal^{1*}, Dagoberto Guillén-Sánchez¹, Porfirio Juárez-López¹, María Andrade-Rodríguez¹, Oscar Gabriel Villegas-Torres¹, Arturo Martínez-Morales²

RESUMEN

Se cosecharon frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* [Jacq.] H. E. Moore & Stearn) en madurez fisiológica, que fueron almacenados durante 0 (testigo), 7, 14, 21 y 28 días a 10 °C y 85% de humedad relativa para determinar el efecto del almacenamiento previo a temperatura baja sobre la calidad y metabolismo de carbohidratos durante la maduración a temperatura ambiente (20 °C ± 2 °C, 60% HR). Los frutos testigo alcanzaron el estado suave al tacto después de 9.9 días y mostraron una pérdida de masa de 1.4% por día, firmeza de 15 N, sólidos solubles de 17.8%, 193.8 y 78.3 mg g⁻¹ de azúcares totales y reductores, respectivamente, 115 mg g⁻¹ de almidón y valores de matiz h=59.2; a su vez, los carotenoides totales no superaron los 451 mg g⁻¹ de peso fresco. Lo anterior sugiere que los frutos testigo no alcanzaron los máximos atributos de calidad organoléptica. Los frutos almacenados entre 7 y 28 días alcanzaron la madurez suave al tacto, en promedio, entre 5 y 7.6 días de haber salido del almacenamiento y mostraron valores de 2.8 N, 1.3% de pérdida de masa por día, sólidos solubles totales mayores a 21%, azúcares totales entre 247 y 363 mg g⁻¹, almidón entre 47 y 240 mg g⁻¹, valores de h menores de 55 y concentraciones de carotenoides superiores a 1 000 mg g⁻¹ de peso fresco. Esto indica que el almacenamiento entre 7 y 28 días no afectó negativamente los parámetros evaluados. Sin embargo, los azúcares reductores en los frutos almacenados a 10 °C durante 21 a 28 días no fueron mayores a 58 mg g⁻¹. Los azúcares reductores participan en la dulzura de los frutos, por lo que su disminución afectó negativamente el sabor de los frutos de zapote mamey.

PALABRAS CLAVE

maduración, azúcares reductores, almidón, carotenoides totales

ABSTRACT

Sapote mamey fruits were harvested in physiological ripening stage, fruits were stored by 0 (control), 7, 14, 21 or 28 days at 10 °C with 85% relative humidity to determinate the effect of storage under low temperatures on quality and behavior of carbohydrates during ripening (20 °C ± 2 °C, 60% RH). Control fruits were soft in 9.9 days, loss weight was 1.4 by day, 15 N of firmness, 17.8% of total solids soluble, 193.8 y 78.3 mg g⁻¹ of total and reducing sugars, 115.5 mg g⁻¹ of starch and h=59.2 values and 451 mg g⁻¹ of total carotenoids in fresh weight. This characteristics indicate that control fruits do not reached the highest organoleptic properties. Fruits stored at 10 °C among 7 and 28 days, 1.3% by day of loss of weight, 21% of total solids soluble, 247 and 363 mg g⁻¹ of sugar total, between 47 and 240 mg g⁻¹ of starch, h values less than 55, and total carotenoids highest to 1 000 mg g⁻¹ of fresh weight. Results indicate that storage to 10 °C between 7 and 28 days did not affect negatively the parameters evaluated. However, total sugars values in fruits stored for 21 or 28 days, did not exceed 58 mg g⁻¹. Reducing sugars are involved in taste of sapote mamey fruit, so the decrease affect negatively its flavor.

KEYWORDS

ripening, reducing sugars, starch, carotenoids

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias; Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos, México.

² Universidad Juárez Autónoma del Estado de Tabasco. Tabasco, México.

* Autor para correspondencia. Av. Universidad 1001, col. Chamilpa. 62209 Cuernavaca, Morelos, México.
Correo electrónico: iran.alia@uaem.mx

INTRODUCCIÓN

El árbol de zapote mamey se desarrolla de forma natural desde el sur de México hasta el norte de Nicaragua (Morton, 2013). En México las zonas originales de distribución son el sur de Veracruz, Tabasco y el norte de Chiapas (Pennington y Sarukhán, 2005). De manera comercial se encuentran áreas de producción en los estados de Puebla, Veracruz, Oaxaca, Chiapas, Guerrero, Tabasco, Yucatán y Quintana Roo (Yahia y Gutiérrez-Orozco, 2011). Actualmente se reportan 1656 ha establecidas con fines comerciales en México, las cuales tienen una producción promedio de 12.5 t ha⁻¹ (SIAP, 2015).

El principal uso del zapote mamey –por el que se ha cultivado extensamente– es el consumo de su fruto (Pennington y Sarukhán, 2005). El fruto del zapote mamey presenta un alto potencial para la comercialización en regiones donde es considerado un fruto exótico. Sus características organolépticas y nutricionales hacen que sea considerado atractivo (Yahia y Gutiérrez-Orozco, 2011). Sin embargo, existe poca información sobre el comportamiento poscosecha de este fruto cuando se lo almacena a temperaturas bajas, un procedimiento necesario para comercializarlo hacia regiones distantes (Alia *et al.*, 2002). Autores como Díaz-Pérez *et al.* (2003) y Yahia y Gutiérrez-Orozco (2001) mencionan la falta de información relacionada con los atributos de la calidad del zapote mamey durante el almacenamiento y maduración, y sugieren que dicha información es necesaria para desarrollar prácticas de manejo que contribuyan a mantener la calidad y a extender la vida poscosecha del fruto.

Actualmente se sabe que el zapote mamey puede refrigerarse a temperaturas entre 13 y 15 °C sin causar alteraciones en su maduración, específicamente daño por frío. El periodo de conservación puede ser de hasta 21 o 28 días (Alia *et al.*, 2005a; Martínez *et al.*, 2006). Cuando se almacenan por más de 14 días a 10 °C, se observan síntomas de daños por frío que se presentan una vez que los frutos son transferidos a temperatura ambiente (Alia *et al.*, 2005b).

Un aspecto que afecta el daño por frío es la concentración de azúcares solubles; sin embargo, no se conoce qué ocurre con los demás azúcares involucrados en la maduración, como los azúcares reductores o el almidón. Otro síntoma del daño por frío es la incapacidad de desarrollar el color característico de la pulpa del fruto (Alia *et al.*, 2005a). El color de la pulpa del fruto de zapote mamey es desarrollado por carotenoides; sin embargo, poco se

ha investigado sobre el efecto de las temperaturas de almacenamiento en estos pigmentos.

Los aspectos antes mencionados son importantes para definir cuáles carbohidratos o pigmentos se ven afectados por las bajas temperaturas, con la finalidad de usarlos como marcadores de estrés en el fruto de zapote mamey. Esto contribuirá con la búsqueda de temperaturas de almacenamiento menores a 12 °C, que no causen daños por frío y que permitan favorecer su calidad.

Por lo anterior, en el presente trabajo se almacenaron frutos de zapote mamey en madurez fisiológica entre 0 y 28 días a 10 °C para, posteriormente, determinar los cambios en carbohidratos, pigmentos y calidad durante la maduración, una vez transferidos a temperatura ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y material vegetal

En marzo de 2009, se colectaron frutos de zapote mamey con una masa promedio de 328 g en el municipio de Coatlán del Río, Morelos (18° 44' 13' LN, 99° 26' 1.3' LO; 1 018 m de altitud). Los frutos se cosecharon de acuerdo con el índice de cosecha utilizado por el productor. Esto significa que se eliminó una pequeña porción de epicarpio en el ápice y base del fruto; si se observaba que la coloración era rosa o naranja, el fruto se cosechaba pues alcanzaría la madurez de consumo (Alia *et al.*, 2005a). El material vegetal se transportó al laboratorio de producción agrícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, donde se acondicionó a temperatura ambiente durante cinco horas.

Organización experimental

Se formaron cinco lotes de 34 frutos, los cuales se almacenaron a 10 °C y 85% humedad relativa (HR) durante 0, 7, 14, 21 y 28 días. Después de cumplir los tiempos de almacenamiento, cada lote de fruto se transfirió a temperatura ambiente (20 ± 2 °C; 60% HR) y se dejó madurar. En esta condición se evaluaron diariamente las variables no destructivas: pérdida de masa y madurez al tacto. Por su parte, a los 1, 3, 5, 7 y 9 días de haber salido del almacenamiento, se evaluaron las variables destructivas: firmeza, matiz, sólidos solubles totales, carotenoides totales, azúcares totales, azúcares no reductores y almidón. Para las variables destructivas, en cada muestreo se tomó un fruto como unidad experimental y se tuvieron seis repeticiones, en tanto que para las variables no

destructivas se tuvieron cinco repeticiones. El diseño experimental fue completamente al azar.

Variables evaluadas

Para determinar el patrón de maduración, cada fruto se clasificó en relación con su firmeza al tacto: duro, cambiante o suave. Se registraron los días promedio necesarios para alcanzar el estado suave, y se reportó la media ponderada (Saucedo *et al.*, 2001).

La pérdida de masa se evaluó de la forma que indican Martínez *et al.* (2006): diariamente se calculó la masa de cada fruto con ayuda de una balanza digital (OHAUS®). La pérdida de masa acumulada se reportó con ayuda de la fórmula $[(P_i - P_f)/P_i \times 100]$.

La firmeza de la pulpa se calculó en la parte media de cada fruto. Para ello, se eliminó una porción de la cáscara en lados opuestos del fruto y se registró la fuerza necesaria (N) para penetrar la pulpa con ayuda de un texturómetro manual (Chatillon DF250, USA) provisto de un puntal cónico (4.7 mm de diámetro en la base).

Los sólidos solubles totales se determinaron a partir de 10 g de pulpa licuada con 100 mL de agua destilada. La mezcla se filtró con dos capas de manta de cielo y, del filtrado, se tomó una gota y se depositó en un refractómetro (PAL-1, ATAGO®, Japón) para tomar la lectura en °Brix.

Los azúcares totales se midieron con el método de antrona descrito por Alia *et al.* (2002). Para esto, se tomó 1 g de pulpa que se colocó en un matraz Ernlennmeyer; a ésta se agregaron 50 mL de alcohol a 80% y se mantuvo en ebullición durante cinco minutos. La solución alcohólica se dejó enfriar y se almacenó en refrigeración (5 °C) durante 15 días hasta su evaluación. La cantidad de azúcares totales se determinó a partir de 1 mL de la solución alcohólica, la cual se evaporó en baño María. Se agregaron 100 mL de agua destilada al residuo, se agitó, se tomó 1 mL de la solución y se transfirió a un tubo Falcon al que se adicionaron 2 mL de agua destilada; posteriormente se agregaron 6 mL del reactivo de antrona (0.4 g de antrona + 100 mL de ácido sulfúrico), cuya aplicación se realizó en baño de hielo. Después, la mezcla de reacción se colocó en ebullición durante cinco minutos, para posteriormente enfriarse en baño de hielo y tomar la lectura en un espectrofotómetro (Genesys® 6, USA) a 600 nm. Se utilizó una curva de calibración de glucosa para determinar las concentraciones de azúcares totales.

La concentración de azúcares reductores se evaluó colorimétricamente; para esto, se tomó 0.1 mL de la

solución alcohólica de azúcares totales, los cuales se colocaron en tubos Falcon y se ajustaron a 1 mL con agua destilada (0.9 mL). Se agregó 1 mL del reactivo de Nelson y se agitó; luego se colocó en baño María a 60 °C durante 20 minutos. Las muestras se cubrieron con papel aluminio, se enfriaron a temperatura ambiente y se les agregó 1 mL del reactivo de arsenomolibdato, se agitaron y se les agregaron 7 mL de agua destilada; se midió la absorbancia a 540 nm.

El contenido de almidón se cuantificó a partir del residuo vegetal de la extracción alcohólica de azúcares. Para esto, se agregaron 30 mL de agua destilada y se llevó a ebullición durante 20 minutos. Se enfrió a 55 °C, se le agregaron 10 mL de Diastasa a 1% (Merck®, Alemania) y se colocaron nuevamente en baño María a 55 °C durante 1.5 h. Se filtró y midió el volumen y se tomó una alícuota de 10 mL. A la alícuota se le agregaron 5 mL de HCL 1.125 N y se colocó en baño María durante 2.5 h. El pH se ajustó a 8.0 con NaOH a 50%. Finalmente, con esta solución se cuantificaron los azúcares totales como se indicó en apartado anterior.

En la parte media de los frutos se retiró una porción de la epidermis en lados opuestos del fruto, y se evaluó el matiz con un espectrofotómetro (X-rite®, SP64). El valor del matiz se obtuvo directamente del equipo.

Los carotenoides totales fueron cuantificados como lo indican Alia *et al.* (2002). Para esto, se tomaron 10 g de pulpa del fruto y se homogenizaron con 30 mL de acetona fría (4 °C). La homogenización se realizó con un UltraTurrax T8 (IKA®). El proceso se repitió para extraer la mayor cantidad de pigmentos. El homogenizado se filtró con papel Whatman® 1 para eliminar los residuos. El filtrado se colocó en un embudo de separación Buchner de 500 mL, se agregaron 20 mL de hexano y 100 mL de agua destilada, para realizar una agitación suave; se dejaron reposar y se formaron dos fases. La fase superior contenía los carotenoides en hexano y la inferior acetona y agua; el proceso se repitió con la parte inferior hasta que quedó incolora. Los extractos de carotenoides se lavaron tres veces con 100 mL de agua para eliminar la acetona, los aceites se saponificaron con 5 mL de hidróxido de sodio (10.0 N) y se lavó nuevamente con agua para eliminar la base. Finalmente, se filtró en manta de cielo con una capa de sulfato de sodio anhidro para eliminar restos de agua. Al extracto final se determinó la absorbancia a 452 nm en un espectrofotómetro Genesys® 6. La cuantificación se realizó mediante una curva de calibración de caroteno-β y se expresó en mg g⁻¹ de peso fresco.

Análisis de datos

Los datos se graficaron en el programa estadístico SigmaPlot V. 12.5 y se obtuvieron regresiones lineales en cada tratamiento (SigmaPlot, 2010). Se obtuvo la ecuación de la curva y se determinó su coeficiente de correlación con el mismo *software*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Maduración al tacto

Los frutos de zapote mamey utilizados como testigo alcanzaron el estado suave después de 10 días de cosechados (figura 1A). Díaz-Pérez *et al.* (2003) reportan que la maduración en frutos de zapote mamey de la misma región fue desde 3 a 4 hasta 9 a 10 días si la temperatura de almacenamiento es de entre 20 y 27 °C. En Tabasco, México se reporta que la maduración es de entre 4.0 y 5.6 días bajo condiciones de 30 ± 2 °C y 80% de HR (Martínez *et al.*, 2006).

Los frutos almacenados a 10 °C durante 7, 14 o 21 días alcanzaron el estado suave al tacto en promedio entre 7.2 y 7.6 días, mientras que los frutos almacenados durante 28 días alcanzaron esta fase cinco días después de salir del almacenamiento (figura 1A). Martínez *et al.* (2006) almacenaron frutos de zapote mamey a 12 °C entre 14 y 35 días, determinando que los frutos fueron suaves al tacto entre 1 y 4 días después de salir del almacenamiento. Los resultados anteriores sugieren que durante el almacenamiento a 10 °C el proceso de maduración continuó, razón por la cual, una vez transferidos a temperatura ambiente, (>20 °C) los frutos se ablandaron en un período menor (figura 1).

Firmeza

Durante la maduración del zapote mamey, la firmeza disminuye significativamente desde valores de 30 N en madurez fisiológica hasta valores entre 1 y 4 N en madurez de consumo (Alía *et al.*, 2005 a). Téllez *et al.* (2009) reportan que frutos en madurez fisiológica de la selección 'Pardo' mostraron valores de 40.6 N y, en la madurez de consumo, valores de 0.83 N. En el presente trabajo los frutos testigo disminuyeron su valor promedio de firmeza inicial (84 N) hasta después de nueve días de cosechados (25 N); sin embargo, en el último muestreo, el valor todavía era muy lejano al de la madurez de consumo (figura 1B), lo que indica que no hubo una madurez normal. La gran variación

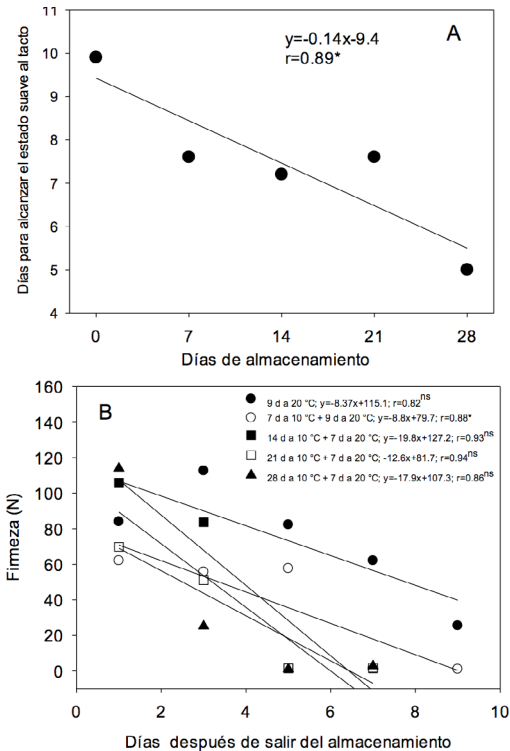


Figura 1. Días para alcanzar el estado suave al tacto (A) y firmeza de frutos de zapote mamey almacenados durante 0, 7, 14, 21 o 28 días a 10 °C (B). Cada punto representa la media de 5 a 6 observaciones.

en la firmeza durante la maduración de los frutos es una problemática en el zapote mamey, dado que es un fruto cuyo epicarpio no muestra cambios que se asocien con la maduración del fruto; esto hace difícil obtener frutos en la misma etapa de maduración.

La firmeza de los frutos almacenados durante 7, 14, 21 y 28 días disminuyó después de salir del almacenamiento (figura 1B). Los frutos almacenados entre 7 y 28 días alcanzaron valores de madurez de consumo (entre 1.0 y 1.5 N) después de 5 o 7 días de salir del almacenamiento (figura 1B), lo que coincide parcialmente con la etapa suave al tacto (figura 1A). Estos resultados sugieren cierta asociación ($r=0.80$) entre las variables días de madurez y firmeza, para determinar la madurez comestible en frutos de zapote mamey.

Alía *et al.* (2005a) reportan que la firmeza de los frutos de zapote mamey almacenados durante 21 días a 10 °C disminuyó constantemente hasta llegar a la madurez de consumo. En el presente trabajo se confirmó que el almacenamiento a 10 °C no afectó el proceso de ablandamiento asociado con la maduración normal en el zapote mamey.

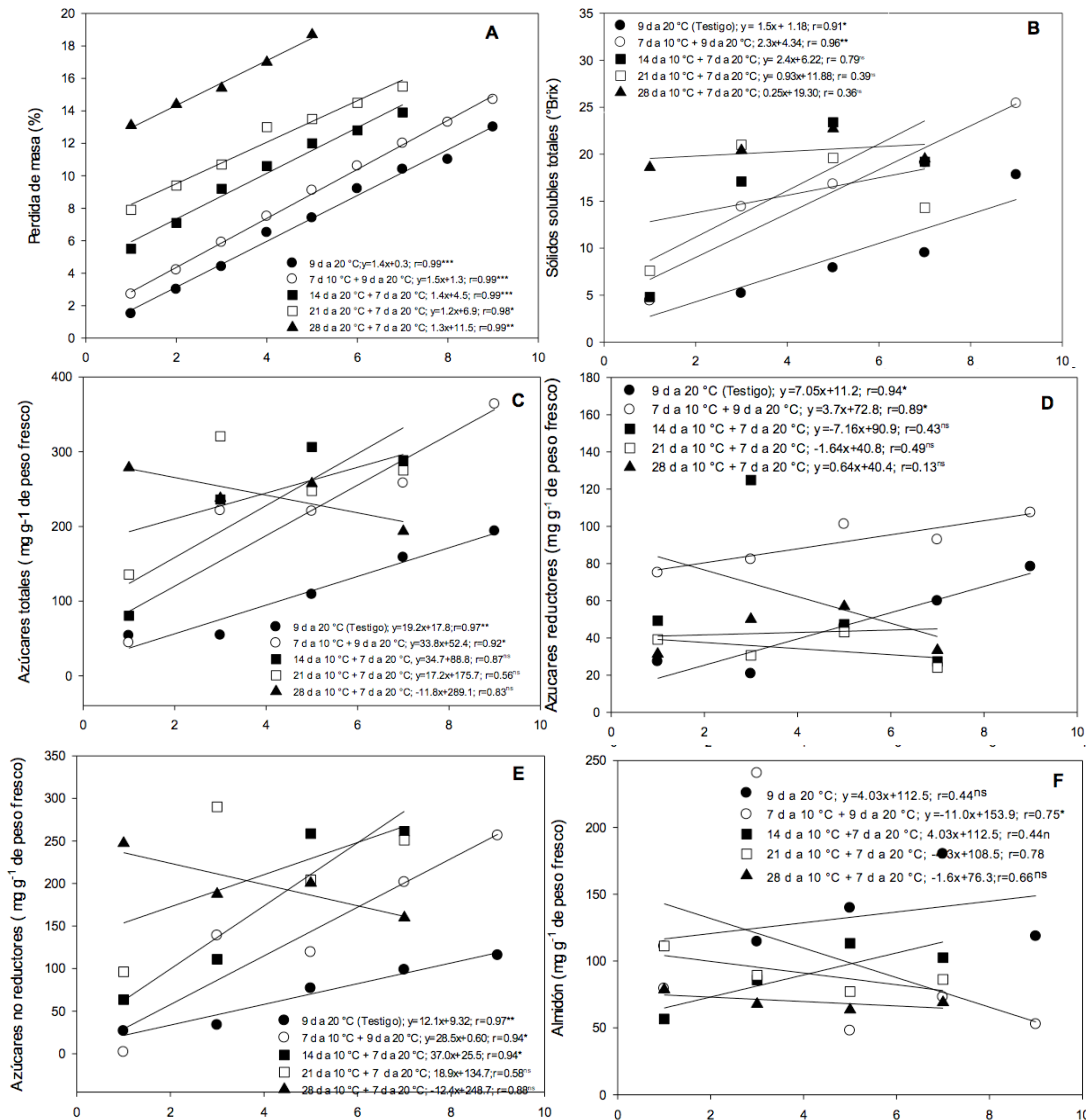


Figura 2. Pérdida de masa (A), concentración de sólidos solubles totales (B), azúcares totales (C), azúcares reductores (D), azúcares no reductores (E) y almidón (F) en frutos de zapote mamey almacenados durante 0, 7, 14, 21 o 28 días a 10 °C (B). Cada punto representa la media de 5 o 6 observaciones.

Pérdida de masa

La pérdida de masa fue de 2.7, 5.5, 7.9 y 13.1% al salir del almacenamiento durante 7, 14, 21 y 28 días a 10 °C (figura 2A). Esto indica que, durante el almacenamiento, hubo pérdidas de masa de entre 2.7 y 13.1 g por cada 100 g de producto. La humedad relativa durante el almacenamiento de frutas es de entre 85 y 90% (Dodd y Bouwer, 2014). En el presente experimento se mantuvieron en refrigeración con 85% de humedad relativa.

Los frutos testigo incrementaron linealmente su pérdida de masa durante nueve días hasta alcanzar 13% de pérdida de masa acumulada (figura 2A). Los frutos almacenados durante 7, 14, 21 y 28 días tuvieron

una pérdida de masa lineal y significativa después de salir del almacenamiento (figura 2A). En todos los tratamientos las pérdidas de masa diaria durante la maduración a temperatura ambiente fueron de 1.2 y 1.3% (figura 2B). Alia *et al.* (2005a) reportaron una pérdida de masa diaria de 1.0% en frutos de zapote mamey de la misma región almacenados previamente durante 21 días a 5, 10 y 15 °C.

Los resultados indican que la pérdida de masa durante el almacenamiento y después de haber salido de éste fue diferente entre los periodos de almacenamiento evaluados y que estas diferencias se atribuyen a la humedad relativa durante el almacenamiento ya que, una vez transferidos a condiciones ambientales, la velocidad de pérdida de masa diaria

fue similar entre los frutos almacenados a temperatura baja y los frutos testigo.

Sólidos solubles totales (SST)

Los sólidos solubles totales en los frutos testigo se incrementaron significativamente de 4.4 °Brix al inicio del experimento hasta 17.8 °Brix después de nueve días (figura 2B). Díaz-Pérez *et al.* (2003) determinaron que, al momento de la cosecha, los valores de los frutos de zapote mamey son de entre 10 y 13 °Brix. Por otro lado, Martínez *et al.* (2006) cuantificaron valores iniciales de 5.6 °Brix e indican que este parámetro puede ser afectado por la región de cosecha. En el presente trabajo los frutos testigo mostraron valores inferiores a los reportados por otros autores en la cosecha, lo que sugiere que los frutos no habían alcanzado el estado óptimo de maduración para ser cosechados.

Los frutos almacenados durante siete días incrementaron significativamente el contenido de SST después de salir del almacenamiento y alcanzaron valores de hasta 25.4 °Brix después de nueve días (figura 2B). Los frutos almacenados durante 14, 21 o 28 días superaron los 20 °Brix después de tres días de salir del almacenamiento, pero no alcanzaron los valores de los frutos almacenados durante siete días. Lo anterior indica que los SST fueron parcialmente afectados de forma negativa por el almacenamiento a 10 °C después de 14 días de almacenamiento.

Téllez *et al.* (2009) determinaron que frutos de zapote mamey selección 'Pardo' no fueron afectados negativamente por el almacenamiento de frutos a 10 °C por periodos de 7, 14 o 21 días, aunque en valores sí se observaban diferencias. Los autores indican que, al salir del almacenamiento, los valores fueron de 12 °Brix y en madurez de consumo los valores fueron de 27 °Brix.

Azúcares totales

Alia *et al.* (2005) reportaron que los azúcares totales en los frutos de zapote mamey se incrementan de 82.7 a 267.3 mg g⁻¹ de la madurez fisiológica a la madurez de consumo. En el presente trabajo los azúcares se incrementaron significativamente de 53.8 a 193.8 mg g⁻¹ en los frutos testigo (figura 2C). Esto sugiere que los frutos testigo no alcanzaron los máximos atributos relacionados con el sabor, dado que los azúcares totales son en gran medida responsables de esta característica.

Los frutos almacenados durante siete días a 10 °C alcanzaron valores de 258 mg g⁻¹ de azúcares totales siete días después de salir de dicha condición, y llegaron a concentraciones superiores a 360 mg g⁻¹ (figura 2C). En el resto de los tratamientos, los frutos de zapote mamey alcanzaron valores máximos de azúcares totales superiores a los frutos testigo, de entre 278 y 320.7 mg g⁻¹, después de 1 o 3 días de salir del almacenamiento. Posteriormente, los azúcares se mantuvieron en niveles similares (figura 2C). Alia *et al.* (2005a) indican que el almacenamiento durante 21 días a 10 °C no afecta la acumulación de azúcares totales después de salir del almacenamiento; no sucede lo mismo con el almacenamiento a 5 °C durante el mismo tiempo, donde el metabolismo de los azúcares se afecta negativamente.

Azúcares reductores

Los azúcares reductores en los frutos testigo se incrementaron de 27.3 mg g⁻¹, en madurez fisiológica a 78.3 mg g⁻¹, en madurez de consumo (figura 2D). Los frutos almacenados durante siete días a 10 °C presentaron una concentración máxima de 107.4 mg g⁻¹ (figura 2D), cantidad que se considera dentro de los valores máximos de azúcares reductores y dentro del intervalo normal durante el proceso de maduración, dado que –como se mostró anteriormente– los frutos testigo no alcanzaron sus máximas características organolépticas.

Los frutos almacenados durante 14 días a 10 °C alcanzaron valores de 124.9 mg g⁻¹ después de tres días de salir del almacenamiento (figura 2D). Por otra parte, los frutos almacenados durante 21 o 28 días no superaron los 60 mg g⁻¹ de azúcares reductores (figura 2D). Estos resultados sugieren que el almacenamiento a 10 °C por más de 21 días afecta negativamente el metabolismo de azúcares reductores.

Casas-Alencaster (1977) determinó que, en madurez fisiológica, los frutos de zapote mamey tienen entre 5 y 24 mg g⁻¹ de azúcares reductores y entre 41 y 83 mg g⁻¹ en la madurez de consumo. Estos valores resultaron similares o fueron superados en algunos tratamientos del presente trabajo (figura 2D). La glucosa y fructosa son azúcares reductores que contienen un grupo aldehído o cetona expuesto (Taiz y Zeiger, 2010). Mir y Beaudry (2000) mencionan que la sacarosa es una molécula dulce cuyo sabor contribuye significativamente a la percepción de dulzura de varios tejidos; sin embargo, su dulzura es de sólo la mitad de la que proporcionan sus cons-

tituyentes, glucosa y fructosa. Una solución molar de sacarosa tiene una calificación de 1.0, mientras que las soluciones molares de glucosa y fructosa tienen calificaciones de 0.6 y 1.6, respectivamente. Esto significa que el rompimiento de la molécula de sacarosa en sus moléculas individuales potencialmente puede incrementar su dulzura.

Si se considera lo anterior, el almacenamiento a 10 °C durante más de 21 días afecta negativamente el metabolismo de azúcares reductores (figura 2D), lo que probablemente afecte su sabor. Este aspecto limita la duración del almacenamiento a esta temperatura.

Azúcares no reductores

Arriola *et al.* (1976) y Casas-Alencaster (1977) determinaron que más de 70% de los azúcares totales en los frutos de zapote mamey corresponde a azúcares no reductores, principalmente sacarosa. En el presente trabajo, entre 60 y 90% de los azúcares totales correspondió a azúcares no reductores (figuras 2C, 2D y 2E). Los frutos testigo, almacenados durante 7 a 14 días aumentaron significativamente su concentración durante la maduración al salir del almacenamiento (figura 2E). En cambio, los frutos almacenados durante 21 o 28 días a 10 °C, al salir del almacenamiento, mostraron poco cambio en su concentración (figura 2E).

Almidón

Durante la maduración del fruto de zapote mamey, el almidón disminuye significativamente (Alia *et al.*, 2007). Sin embargo, tanto en los frutos testigo como en aquéllos que se almacenaron a 10 °C entre 7 y 28 días, no se observó una tendencia clara (figura 2F). En general, los valores de almidón se mantuvieron entre 47.8 y 240.5 mg g⁻¹ (figura 2F).

Matiz

Los valores de matiz indican que, en las lecturas tendientes a h=90, el color es amarillo, mientras que en las tendientes a h=0 son colores que oscilan entre el rojo y el púrpura (Neguerula *et al.*, 2012). Los reportes en zapote mamey indican valores de h=54 en madurez fisiológica y de h=46 en madurez de consumo (Gómez-Jaimes *et al.*, 2009). En el presente experimento, los frutos testigo mostraron valores constantes durante los nueve días de evaluación de entre h=50 y h=61 (figura 3A). Esto sugiere que no alcanzaron su valor máximo en este parámetro de color. A su

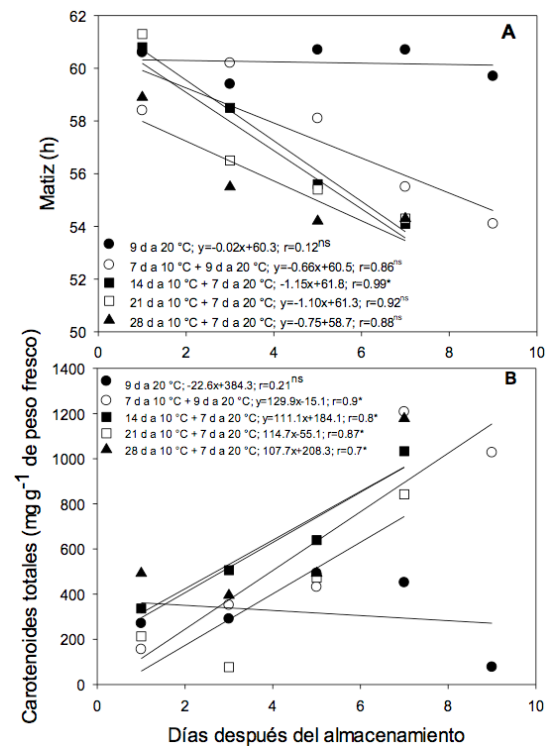


Figura 3. Matiz (A) y carotenoides totales (B) en frutos de zapote mamey almacenados durante 0, 7, 14, 21 o 28 días a 10 °C (B). Cada punto representa la media de seis observaciones.

vez, los frutos almacenados entre 7 y 28 días a 10 °C presentaron valores matiz h=61 cercanos al salir del almacenamiento, que cambiaron a valores de h=54 en la madurez de consumo (figura 3A); es decir, el desarrollo de color no se afectó negativamente.

Carotenoides totales

Los frutos de zapote mamey mostraron valores constantes de carotenoides durante los nueve días de evaluación (figura 3B) con valores de entre 77 y 492 mg g⁻¹. Yahia *et al.* (2011) indican que el zapote mamey tiene concentraciones de 1 127 mg 100 g de peso fresco, donde el caroteno-β es el principal pigmento.

Los frutos almacenados a temperatura baja mostraron incremento constante en la concentración de carotenoides después de salir del almacenamiento (figura 3B). Los frutos almacenados entre 7 y 28 días a 10 °C alcanzaron entre 827 y 1 177 mg g⁻¹ (figura 3B). Esto sugiere que el almacenamiento hasta por 28 días a 10 °C no afecta el metabolismo de los carotenoides durante la maduración y, por tanto, tampoco afecta la calidad del fruto de zapote mamey.

CONCLUSIONES

Los frutos de zapote mamey almacenados a 10 °C durante más de 21 días son afectados negativamente en el metabolismo de azúcares reductores. Los frutos de zapote mamey almacenados a 10 °C entre 7 y 28 días no afectan procesos de maduración como la firmeza, pérdida de masa, matiz y carotenoides totales.

LITERATURA CITADA

- Alia, T. I., M. T. Colinas., M. T. Martínez, M. R. Soto. 2002. Factores fisiológicos, bioquímicos y de calidad en frutos de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn] en poscosecha. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 8: 263-281.
- Alia, T. I., R. Villanueva-Arce, C. Pelayo-Zaldivar, M. T. Colinas-León, V. López-Martínez, S. Bautista-Baños. 2007. Postharvest physiology and technology of sapote mamey fruit (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn). *Postharvest Biology and Technology* 45: 285-297.
- Alia, T.I., M. T. Colinas, M.T. Martínez, M. R. Soto. 2005a. Daños por frío en zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn) I. Comportamiento de volátiles, firmeza y azúcares totales. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28: 17-24.
- Alia, T.I., M. T. Colinas, M.T. Martínez, R. Soto. 2005b. Daños por frío en zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn). II Fenoles totales y actividad enzimática. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28: 25-32.
- Arriola, M.C., J. Menchú, C. Rolz. 1976. Caracterización y almacenamiento de algunas frutas tropicales. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial. Guatemala.
- Casas-Alencaster, G. A. 1977. Cambios fisiológicos y bioquímicos durante la maduración de mamey (*Calocarpum mammosum*). Tesis de licenciatura. Instituto Politécnico Nacional. México. 90 p.
- Díaz-Pérez, J.C., S. Bautista, R. Villanueva, R. López-Gómez. 2003. Quality changes in sapote mamey fruit during ripening and storage. *Postharvest Biology and Technology* 28: 199-202.
- Dodd, C. M., J. J. Bouwer. 2014. The supply value chain of fresh produce from field to home: refrigeration and other supporting technologies. pp: 449-483. En: Florkowski, J. W., R. L. Shewfelt, B. Brueckner, S. E. Prussia (eds.). *Postharvest handling. A systems approach*. Academic Press. MA, USA. 564 pp.
- Gómez-Jaimes, R., D. Nieto-Ángel, S. Téliz-Ortíz, J. A. Mora-Aguilar, M. T. Martínez-Damián, D. Vargas-Hernández. 2009. Evaluación de la calidad e incidencia de hongos en frutos refrigerados de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn]. *Agrociencia* 43: 37-48.
- Martínez, M. A., I. Alia, M. T. Colinas. 2006. Refrigeración de frutos de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn] cosechados en diferentes fechas en Tabasco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29 (Núm. Especial 2): 51-57.
- Mir, N., R. Beudry. 2000. Atmosphere control using oxygen and carbon dioxide. In: Knee, M. (ed.). *Fruits Quality and its Biological Basis*. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. pp: 122-156.
- Morton, F.J. 2013. *Fruits of warm climates*. Echo Point Books & Media. USA. 505 p.
- Neguerula, I. A. 2012. Is the color measured in food the color that we see? In: Caivano, J.L., M. del P. Buera. (eds.) *Color in food. Technological and psychophysical aspects*. CRC Press-Taylor & Francis Group. Boca Raton, Florida, USA. pp: 81-91.
- Pennington D. T., J. Sarukhán. 2005. *Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies*. Universidad Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 523 p.
- Saucedo V. C., A. Martínez, S. H. Chávez, R.M. Soto. 2001. Maduración de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn) tratados con etileno. *Revista Fitotecnia Mexicana* 24: 231-234.
- Servicio de Información agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2015. Cierre de la producción agrícola por cultivo. En línea: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/> (consultado: 29 de marzo de 2015).
- SigmaPlot. 2010. *SigmaPlot® 12. User's guide*. Systat Software, 459 p.
- Taiz, L., E. Zeiger. 2010. *Plant physiology*. Sinauer Associates. Sunderland, Massachusetts, USA. 764 p.
- Téllez, P. P., C. Saucedo, M. L. Arevalo, S. Valle. 2009. Maduración de frutos de mamey (*Pouteria sapota* Jacq.) tratados con 1-metilciclopropeno y refrigeración. *CyTA Journal of Food* 7: 45-51.
- Yahia, M. E., F. Gutierrez-Orozco, C. Arvizu-de León. 2011. Phytochemical and antioxidant characterization of mamey (*Pouteria sapota* Jacq. H. E. Moore & Stearn) fruit. *Food Research International* 44: 2175-2181.
- Yahia, M. E., F. Gutiérrez-Orozco. 2011. Mamey sapote (*Pouteria sapota* Jacq. H. E. Moore & Stearn). pp: 483-491. En: Yahia, M. E. (ed.). *Postharvest Biology and Technology of Fruits and Subtropical Fruits. Volume 3: Conoia to mango*. Woodhead Publishing. Philadelphia, USA. pp: 482-491 p.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al programa SEP Promep por el apoyo otorgado mediante el PIFI para la realización del presente trabajo.