

# CALIDAD DE LOS FRUTOS DE *Pouteria sapota* (Jacq.) Moore & Stearn Y TOLERANCIA AL AIRE CALIENTE FORZADO HÚMEDO

QUALITY OF THE FRUITS OF *Pouteria sapota* (Jacq.) Moore & Stearn AND TOLERANCE TO FORCED HUMID HOT AIR

Ariza-Flores, R.<sup>1</sup>, Michel-Aceves, A.<sup>2\*</sup>, Barrios-Ayala, A.<sup>1</sup>, Otero-Sánchez, M.A.<sup>2</sup>, Espinosa-Paz, N.<sup>3</sup>, Avendaño-Arrazate, C.H.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Iguala, Gro. <sup>2</sup>Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero, Iguala, Gro., México. <sup>3</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Ocozocoautla, Chiapas, <sup>4</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Tuxtla Chico, Chiapas.

\*Autor de correspondencia: amichelaceves@yahoo.com.mx

## RESUMEN

Los frutos de sapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn) son altamente climatéricos, maduran rápido y son expuestos a daños por microorganismos. Con el fin de tener alternativas para controlar la mosca de los sapotes, se evaluó la aplicación de atmósferas controladas de aire caliente forzado húmedo en frutos de sapote, determinando la tolerancia sin perjudicar calidad y vida de anaquel. Los frutos fueron tratados con aire caliente forzado húmedo a 43, 46 y 50 °C y 90% de HR a diferentes tiempos de exposición; inmediatamente, enfriados con agua a temperatura ambiente y almacenados por 15 días a 10 y 25 °C. Los frutos más dañados en el mesocarpio fueron a 50 °C/120 min y mostraron una maduración irregular, le siguieron a 46 °C/ 180 min; y los menos afectados fueron a 43 °C/120 min y los testigos o sin aplicación. Los frutos a 25 °C alcanzaron su madurez de consumo a los ocho días. Los tratados con aire caliente forzado perdieron más peso y mostraron menos firmeza; asimismo, el color del mesocarpio fue disminuyendo en luminosidad (L\*), croma (C\*) y ángulo de matiz (h\*), fueron de color rosa al inicio y cambiaron a rojo-anaranjado a madurez de consumo y por último fueron cafés a los 15 días. Los frutos a 10 °C se mantuvieron con cambios ligeros en firmeza, pérdida de peso y mayor vida de anaquel; sin embargo, el color del mesocarpio fue oscuro a los 15 días a 50 °C/120 min. Los frutos sin daños y que mantuvieron calidad fueron los expuestos a 43 °C/120 min y almacenados a 25 y 10 °C; sin embargo, mostraron diferencias por efecto de ambas temperaturas de almacén, las cuales fueron registradas a los 8 y 15 días del almacenamiento.

**Palabras clave:** Zapote mamey, atmósfera controlada, postcosecha.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 1, enero, 2018. pp: 62-71.

Recibido: octubre, 2017. Aceptado: diciembre, 2017.

## ABSTRACT

Mamey sapote (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn) fruits are highly climacteric, mature rapidly, and are exposed to damage from microorganisms. With the aim of having alternatives to control the sapote fly, the application of controlled atmospheres of forced humid hot air in sapote fruits was evaluated, defining the tolerance without being harmful to the quality and shelf life. The fruits were treated with forced humid hot air at 43, 46 and 50 °C, and 90% of HR at different times of exposure; immediately, cooled with water at room temperature and stored for 15 days at 10 and 25 °C. The most damaged fruits in the mesocarp were at 50 °C/120 min and the controls or without application. The fruits at 25 °C reached their maturity for consumption after eight days. The ones treated with forced hot air lost more weight and showed less firmness; also, the color of the mesocarp decreased in luminosity (L\*), chrome (C\*), and hue angle (h\*), went from pink color at the beginning and changed to red-orange at maturity for consumption and lastly were brown after 15 days. The fruits at 10 °C were kept with slight changes in firmness, loss of weight and longer shelf life; however, the color of the mesocarp was dark after 15 days at 50 °C/120 min. The undamaged fruits and which maintained quality were the ones exposed to 43 °C/120 min and stored at 25 and 10 °C; however, they showed differences from the effect of both temperatures of storage, which were recorded after 8 and 15 days of storage.

**Keywords:** Mamey sapote, controlled atmosphere, post-harvest.

se almacena a temperaturas menores a 10 °C, que aumentan con el tiempo de almacenamiento e incluyen manchas cafés en la cáscara, y sabores desagradables (Kader, 1992; Díaz *et al.*, 2000). La maduración del fruto se asocia con el ablandamiento de la pulpa y presenta un aumento en el contenido de sólidos solubles totales de 30%, así como un cambio en el color de la pulpa de amarillo a rojo (Díaz *et al.*, 2000). Sin embargo, el fruto se ha estudiado poco conforme a sus características fisiológicas, físicas y bioquímicas (Alia *et al.*, 2007). Desde hace varios años se han desarrollado los tratamientos cuarentenarios para el control de o erradicación de plagas y enfermedades en postcosecha de los frutos de un producto hortofrutícola en estado fresco, los cuales incluyen la aplicación de fumigantes, irradiación, almacenamiento en frío o bajas temperaturas, inmersión en agua caliente, aire caliente, atmósferas controladas, y la combinación de estos tratamientos (Rahman *et al.*, 1990), que representan un factor importante en el mercado internacional. Los tratamientos térmicos incluyen agua caliente, vapor húmedo y aire caliente forzado (Lurie, 1998), no son dañinos para el consumidor y en algunas ocasiones sustituyen a los tratamientos químicos. En postcosecha, los tratamientos térmicos se usan para desinfectar y desinfectar productos (Paull, 1994). El agua caliente se usó originalmente para el control de hongos, pero se ha extendido hacia el control de insectos. El vapor caliente fue desarrollado específicamente en el control de insectos, mientras que el aire caliente se ha usado para ese control y estudiar la respuesta de los productos a altas temperaturas (Lurie, 1998). El vapor húmedo es un método de calentamiento del fruto con el vapor

## INTRODUCCIÓN

**El sapote mamey** (*Pouteria sapota* H. E. Moore & Stearn) es originario de las tierras bajas del sur de México y América Central (Azudia, 2006). En México se ha extendido en los estados de Guerrero, Tabasco, Chiapas, Veracruz, Yucatán y Morelos. Los frutos se han visto afectados principalmente por la corta vida de anaquel, daños por frío y ataques de microorganismos e insectos como la mosca de los sapotes [*Anastrepha serpentina* (Wiedemann)] (Alia *et al.*, 2007), los cuales ocasionan una disminución en el aspecto y la calidad de los frutos, con pérdidas de 20% a 30% en la producción, que ocurren por los tipos de almacenamiento, que reducen la respiración y pérdida de agua, rápida maduración y crecimiento de hongos que infectan, tales como *Botryodiplodia*, *Phytophthora*, *Pestalotiopsis* y *Phomopsis* (Siddiqui y Dua, 2006). El fruto es considerado exótico, de forma ovoide a elipsoidal, de 7 a 25 cm de largo, y de 10 a 15 cm de diámetro; su cáscara es delgada, de color café claro y textura rasposa. La pulpa del fruto maduro es blanda y suave, de colores rosa salmón, naranja, rojo o café-rojizo; es dulce, con delicioso sabor ligero a calabaza ligeramente almendrada, baja en fibras y textura cremosa (Yahia, 2001). El peso del fruto varía de 0.3 a 3 kg y contiene una o varias semillas largas elípticas y brillantes, duras, de color café, con un ligero hiliun en la parte ventral (Alia *et al.*, 2007). El fruto es de tipo climatérico, con un rango de respiración de 25 a 35  $\text{ML CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , y se cosecha cuando la pulpa se torna rojiza; es uno de los que más produce etileno, con más de 100  $\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  a 20 °C (Alia *et al.*, 2007). Es sensible a daños por frío cuando

de agua a temperaturas que varían de 40 °C a 50 °C, con fines de control de estados inmaduros de varios insectos (Shellie y Mangan, 1994), que de manera comercial opera en varios países, principalmente para uso en frutos tropicales (Paull, 1994). Esta tecnología se puede aplicar en combinación con otras técnicas de control de insectos en postcosecha, en especial como una gran opción para el combate de moscas de la fruta; sin embargo, es necesario explorar las temperaturas para no dañar la calidad de los frutos. El tratamiento con aire caliente forzado poco se ha explorado su potencial, ya que existe el concepto de que afecta la fisiología de los frutos; sin embargo, su uso es factible para el control de insectos y prevenir la invasión de hongos. Además, se justifica en combinación con otros tratamientos y los hace eficientemente rentables. Las atmósferas controladas insecticidas también funcionan cuando se aplican en combinación con las altas temperaturas, a concentraciones de O<sub>2</sub> muy bajas (<1 %) y de CO<sub>2</sub> muy altas (≥ 50 %), las cuales aceleran la mortandad de los insectos (Yahia, 1998; Yahia, 2006). El aire caliente forzado está considerado como una alternativa de tratamiento cuarentenario por periodos cortos de exposición, pero algunas especies de frutos no toleran tales tratamientos, por lo que es necesario conocer las bases de sensibilidad y tolerancia de los frutos a estas atmósferas. Jitthum *et al.* (2002) observaron que los frutos de sapote mamey incubados a 35 °C por 12 h con aire caliente y después sumergidos en CaCl<sub>2</sub> al 5% por 30 min disminuyeron los daños por frío, se reduce la respiración y producción de etileno y actividad de ACC oxidasa, después de 40 días de almacenamiento. El objetivo del presente trabajo fue determinar la tolerancia de los frutos de sapote mamey al tratamiento térmico con aire caliente forzado húmedo sin afectar calidad y vida de anaquel, para que se dirija hacia una posibilidad de control de la mosca de la fruta.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los frutos se obtuvieron del huerto comercial de San Martín, Quechultenango, Guerrero, México, de las cosechas de marzo a mayo en la etapa de madurez fisiológica de mínimo climatérico y de color rosa-anaranjado en la pulpa. Para su estudio fueron trasladados al Laboratorio de Fisiología y Bioquímica en Poscosecha de Frutos del Departamento de Investigación y Postgrado en Alimentos, de la Facultad de Química en la Universidad Autónoma de Querétaro, por lo que se estudió la tolerancia de los frutos al aire caliente forzado para determinar su calidad y efecto en los frutos.

## Calidad de los frutos

Los frutos se seleccionaron por tamaño y apariencia uniforme; se formaron lotes homogéneos con un número de 48 frutos, a los cuales se aplicaron los tratamientos con aire caliente forzado y 90% de humedad relativa en la cámara hermética mezcladora de gases de flujo continuo ligero a temperaturas de 50, 46 y 43 °C, medidas con termopares en cuatro partes, por tiempos de exposición de 120, 150 180 min, por lo que los dos primeros miden las temperaturas del aire en la cámara: 1) Entrada del aire caliente a la cámara y estandarizado a la temperatura deseada los cinco minutos; 2) Salida del aire de la cámara y estandarizada a la temperatura deseada a los 10 min, mientras que los otros dos termopares miden las temperaturas en los frutos de la manera siguiente: 3) Mesocarpio 1 (ligeramente pegado a la cáscara); estas fueron aumentando hasta los 30 min de exposición y se estandarizó la temperatura, y 4) Mesocarpio 2 (centro del fruto); fue más lento el incremento de temperatura, la cual se estandarizó una vez transcurridos en más de la mitad de los tratamientos aplicados para cada uno de los tiempos de exposición, por lo que las gráficas de temperaturas mostraron tendencias semejantes. También se dejó un mismo número de frutos para el tratamiento del testigo (sin aplicación de aire caliente o control); asimismo, 10% de los frutos fueron seleccionados para realizar los análisis de calidad como la evaluación de los cero días (d).

Después del tratamiento térmico los frutos fueron puestos en agua a 20 °C por 30 min para bajar la temperatura. Posteriormente fueron almacenados a 10 °C y 25 °C, para realizar los análisis de calidad a cada una de las muestras de ocho frutos de cada temperatura de almacenamiento a los 8 y 15 d de almacenamiento. Las evaluaciones fueron características físicas, fisiológicas y de sanidad:

1) Sanidad. Se evaluaron los daños internos en el mesocarpio con la escala de 1 a 5 (1=sin daños; 2=1 a 10% de oscurecimiento en los haces vasculares y pulpa; 3=11 a 25% de oscurecimiento en los haces vasculares y pulpa poco oscura; 4=26 a 40% de oscurecimiento en los haces vasculares, y pulpa con 5% de daños por hongos; y, 5=≥41% de oscurecimiento de los haces vasculares y con más de 5% infectado con hongos en la pulpa).

2) Físicas. Estos consistieron en la determinación de la pérdida peso, firmeza y color de la pulpa, 2.1. Pérdida de peso (%), medida con la balanza analítica y obteni-

da por diferencia de pesos del inicio y de la fecha de muestreo. Para las determinaciones de la firmeza y color se removieron ligeramente tres partes de la cáscara o epicarpio del fruto, de 3 cm<sup>2</sup> cada una, por lo que se procedió a las mediciones de 2.2. Color del mesocarpio (pulpa), medido por triplicado con un Hunter Lab (Minolta, mod. CM-2002) mediante los valores de L\*, a\*, b\*, Croma (C\*) y ángulo de hue (h\*); 2.3. Firmeza del mesocarpio, determinado en Newtons (N) y medida por triplicado con un texturómetro Instron Universal (mod. TA-XT2), con el puntal de 4 mm de diámetro y de 8 mm de profundidad en la pulpa;

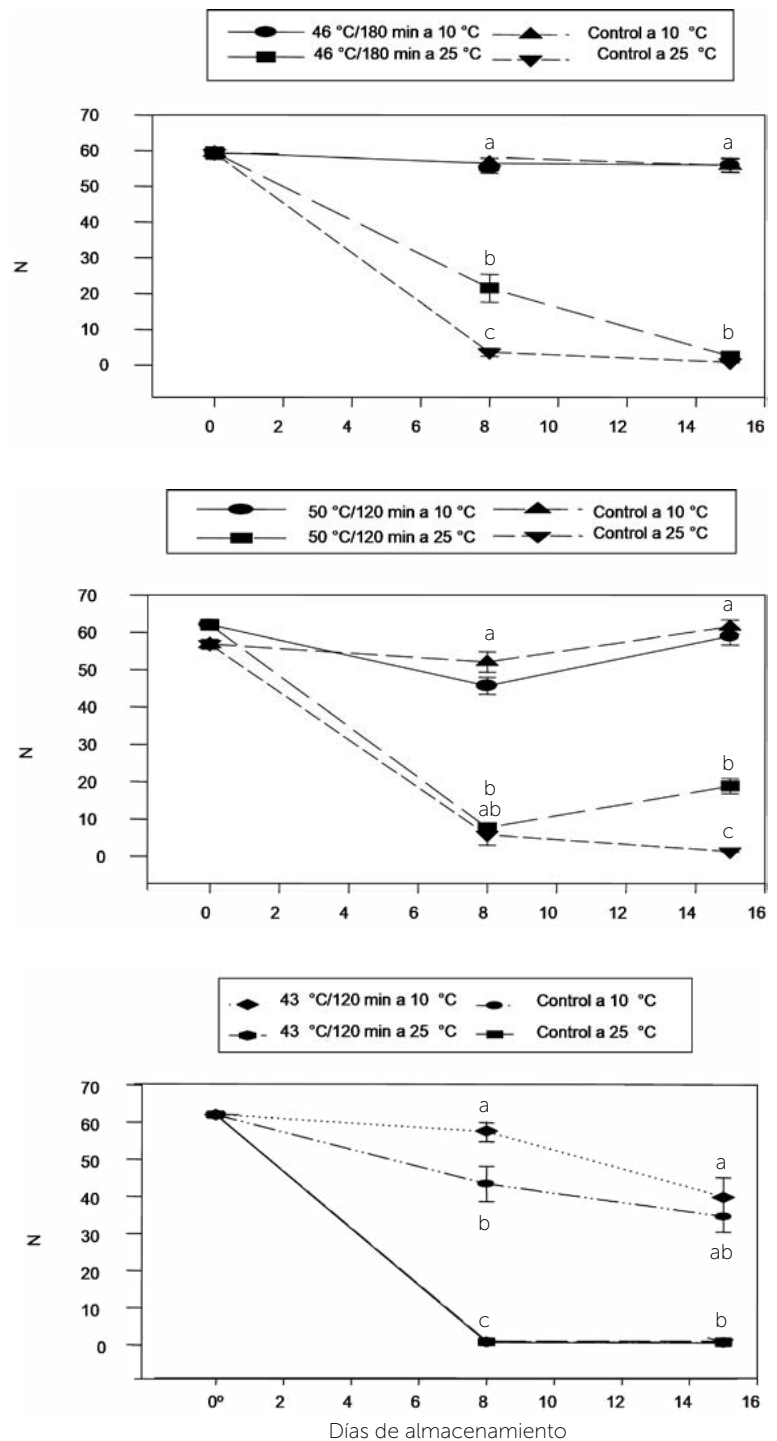
3) Fisiológicos, consistieron en determinar la maduración de frutos, misma que fue evaluada al tacto con la escala de 1 a 5 (1=muy duro; 2=duro; 3=moderadamente duro; 4=blando; y, 5=muy blando). Los resultados de las variables fueron analizados (SAS, 2009) mediante pruebas de análisis de la varianza, de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) y representados en figuras con los valores medios y barras presentando al error estándar.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados demostraron diferencias significativas entre tratamientos y sobre todo por el tipo de sistema de almacenamiento (Tukey,  $p \leq 0.01$ ) y de todas las variables evaluadas.

**Firmeza del mesocarpio:** disminuyó considerablemente en los frutos mantenidos a 25 °C, ya que de 60 N cm<sup>-2</sup> que presentaron al inicio bajaron a menos de 20 N cm<sup>-2</sup> en el octavo día (d) de almacenamiento en los tratamientos a 46 °C/180 min, 50 °C/120 min y de 43 °C/120 min; de los frutos testigo (sin aplicación) casi fueron de 0 N cm<sup>-2</sup> a los 15 d de almacenamiento, como se muestra en la Figura 1 (A, B y C). A 10 °C los cambios en la firmeza de los frutos fueron muy bajos, ya que se mantuvieron hasta 55 N cm<sup>-2</sup> durante los 15 d de almacenamiento. Existen diferencias en la firmeza de los frutos ( $P > 0.01$ ) entre ambos sistemas de almacenamiento a los 10 y 25 °C. Estas fueron disminuyendo durante el periodo de almacenamiento. Los frutos almacenados a 25 °C coincidieron en la pérdida de firmeza a los 8 y 15 d del almacenamiento en todos los tratamientos, que se mostraron muy blandos a los 15 d.

Los frutos a 46 °C y 50 °C presentaron mayor firmeza; asimismo, ocurrió en el tratamiento de 43 °C/120 min. Esto indica que los frutos a altas temperaturas y períodos largos de exposición al aire caliente se ven favorecidos con mayor firmeza, ya que ocurre una pérdida de agua por la evapotranspiración y efecto de la aplicación del



**Figura 1.** Firmeza (N) del mesocarpio de los frutos de sapote mamey expuestos en aire caliente forzado y almacenados a 10 y 25 °C. A. 46 °C, B. 50 °C, C. 43 °C. Los valores medios y barras presentan el error estándar; con letra igual no es significativo (Tukey > 0.01).

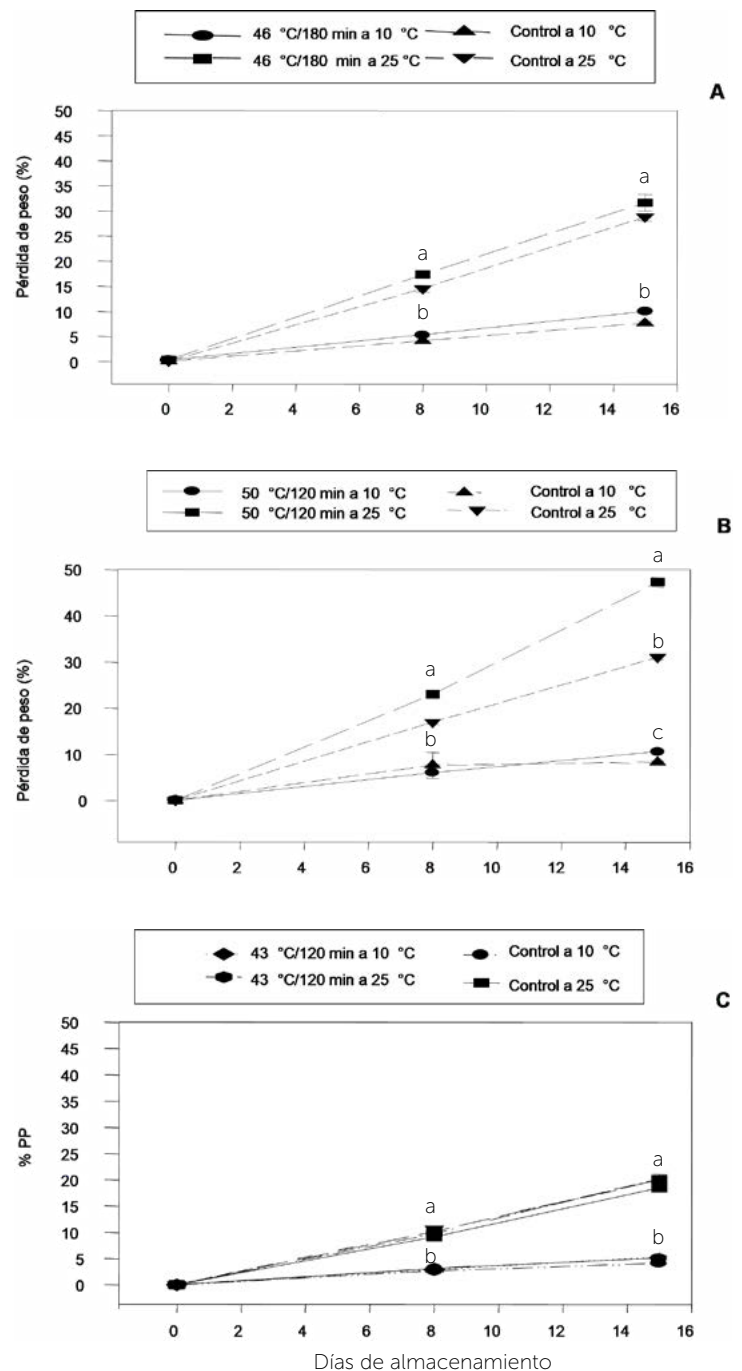
aire caliente forzado. En mango 'Manila' ocurrieron resultados similares (Yahia y Ortega, 2000). Los tratamientos térmicos ayudan a prolongar el período de vida de anaquel en los frutos cosechados en madurez fisiológica, así como en los de madurez de consumo. Los frutos expuestos a 25 °C tienen procesos de ablandamiento rápidos (8 d) por los cambios acelerados que se presentan en la síntesis de las enzimas pectinmetilesterasa y poligalacturonasa de la pared celular (Brownleader *et al.*, 1999; Arenas *et al.*, 2001; Alia *et al.*, 2005a). Asimismo, hay un efecto de los tratamientos térmicos en el endurecimiento de la pared celular por la mejor condensación del agua, resultando como alternativa en la prolongación de la vida del anaquel (Yahia y Ariza, 2001).

**Pérdida de peso;** fue mayor en los frutos mantenidos a 25 °C y ocurrió después de los tratamientos térmicos con una pérdida de peso de 1.0, 2.0 y 3.0% por día a 43, 46 y 50 °C, mientras que en los testigos presentaron 1.0%, los cuales fueron muy similares con los frutos a 43 °C durante los 15 d de almacenamiento. Por lo tanto, la mayor pérdida de peso ocurrió en los frutos tratados a 50 °C/180 min, los cuales son menos apreciables para el consumidor; a 43 °C/120 min la pérdida fue baja y conservaron las características adecuadas de calidad hasta los ocho días de almacenamiento. Esto se mostró similar en los frutos del testigo, que fueron ligeramente bajas, así como se muestra en la Figura 2 (A, B y C). La pérdida de peso a 25 °C se incrementa por el proceso fisiológico de los frutos de sapote mamey, ya que son altamente climatéricos (Díaz *et al.*, 2000; Alia *et al.*, 2007), lo cual acelera el proceso de maduración y disminuye la vida del producto.

Los frutos almacenados a 10 °C mostraron una pérdida de peso por día de 0.35, 0.6 y 0.6% a 43, 46 y 50 °C, respectivamente, mientras que en el caso de los del testigo fue muy similar a los tratados con aire caliente forzado húmedo y fueron más bajas a 43 °C con respecto a su peso inicial durante los 15 d de almacenamiento. Los frutos a 43 °C y almacenados a 25 °C no presentaron cambios drásticos en apariencia física del peso y mostraron mejor aceptación para el consumidor hasta los ocho días de almacenamiento; después fueron perdiendo esa cualidad y se tornaron no aptos para el consumo. Estos últimos resultados coinciden con los reportados por Díaz *et al.* (2000). Las pérdidas

de peso en los frutos con aire caliente de temperaturas superiores a 43 °C estuvieron influenciadas por una mayor transpiración o condensación del agua, como efecto de los tratamientos físicos (Yahia y Ariza, 2001), pero favorecieron a una mayor vida de anaquel.

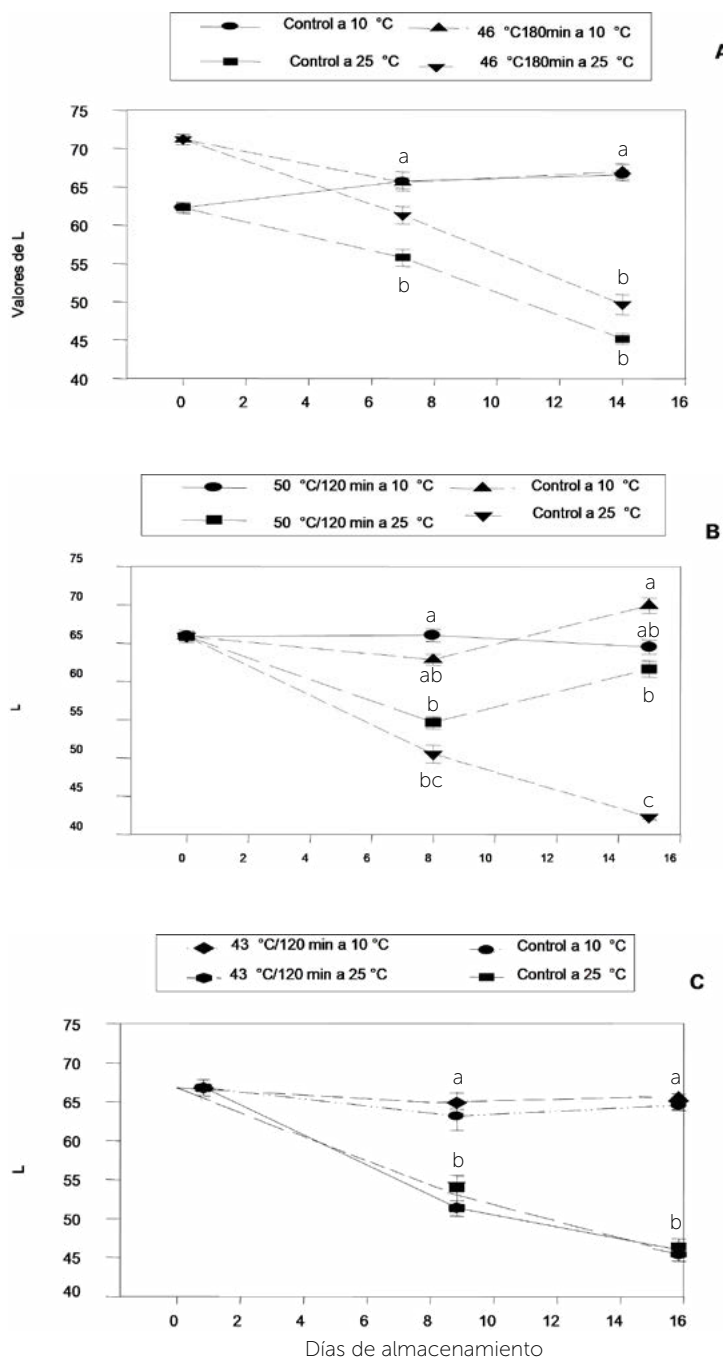
**Color del mesocarpio;** los frutos mostraron cambios en el color de la pulpa en L\*, C\* y hue angle (ángulo



**Figura 2.** Pérdida de peso (%) de los frutos con aplicación de tratamientos térmicos. A. 46 °C, B. 50 °C, C. 43 °C. Las líneas de las figuras con los valores promedios y barra del error estándar, con letra igual no es significativo (Tukey, p>0.01).

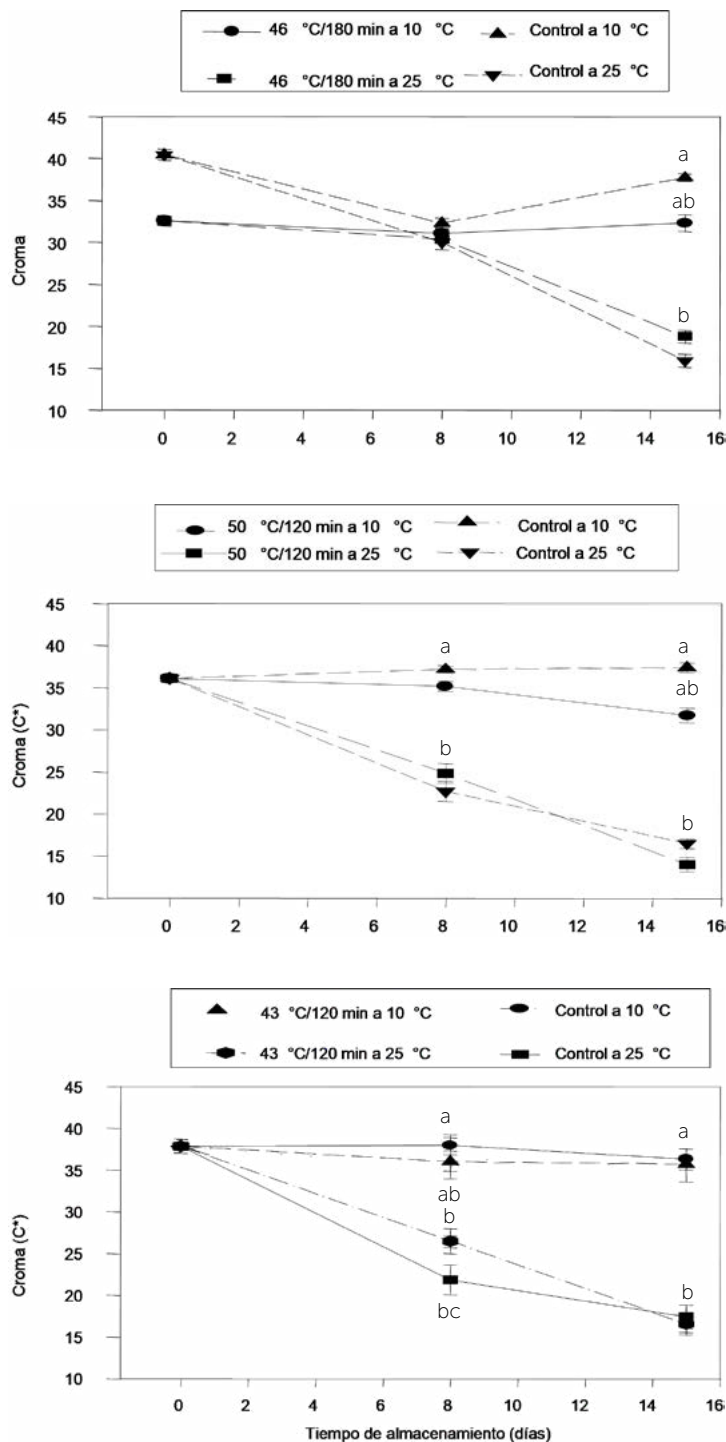
de matiz o  $h^*$ ) que fueron de rosa-anaranjado en la madurez fisiológica a un naranja a rojo en madurez de consumo por la síntesis de carotenoides, mientras que fueron oscuros al final del almacenamiento. La luminosidad ( $L^*=67$ ) fue disminuyendo en los frutos almacenados a 25 °C por el obscurecimiento (color café) gradual de la pulpa ( $L^*=55$  a 51) a los 8 d en

madurez de consumo y ( $L^*=45$  a 42) a los 15 d a un café oscuro en la sobre maduración. Los frutos menos afectados fueron a 50 °C y los más oscuros son los de 43 °C y del testigo, que se debieron a las altas concentraciones de compuestos fenólicos (Figura 3 A, B, C). Hubo diferencias entre tratamientos térmicos y tiempos de exposición ( $P>0.01$ ) y entre las fechas de muestreo ( $P>0.01$ ), así como del ángulo de matiz  $h^*$  ( $P>0.05$ ). Por lo tanto, los tratamientos térmicos altos, pueden afectar severamente a los frutos, de tal manera que no puedan servir para el consumo y comercialización. Los resultados coinciden con los reportados por Alia *et al.* (2005b). Sin embargo, los frutos mantenidos a 10 °C mostraron cambios mínimos en la luminosidad ( $L^*$ ), ya que se afectaron poco por los tratamientos térmicos; los cambios fueron más drásticos en los frutos testigo y mostraron diferencias entre tratamientos térmicos, sobre todo los más afectados fueron en los frutos a 50 °C/120 min. Estos cambios fueron menores o nulos en los frutos a 43 °C/120 min. En croma ( $C^*$ ), los frutos a 25 °C mostraron un índice de color de la pulpa ( $C^*=37$ ) en el inicio de rojo anaranjado; esto disminuyó a  $C^*=23$  a 29 con un color ligeramente oscuro en los testigos. De 43 °C y hasta 50 °C a los 8 d, siendo mayores a temperaturas altas (Figura 4.A, B, C), y fueron invertidos de  $C^*=19$  a 15 en los mismos tratamientos, que terminaron muy oscuros a los 15 d de almacenamiento; por lo que mostraron diferencias estadísticamente entre tratamientos térmicos y fechas de muestreo ( $P>0.01$ ), mientras que los frutos a 10 °C no mostraron cambios de color y la variación entre tratamientos fue baja. Esto demostró que los frutos en madurez de consumo se favorecen y no fueron afectados drásticamente al tratamiento térmico de 43 °C, comparados con los testigos. Las tendencias de los valores de  $C^*$  son similares a los reportados por Díaz *et al.* (2000).



**Figura 3.** Luminosidad ( $L^*$ ) de color del mesocarpio de los frutos tratados con aire caliente forzado. Las figuras presentan a los tratamientos: A. 46°C/180 min, B. 50°C/120 min, C. 43°C/180, 150 y 120 min, D. 45 y 43°C/120 min. Los puntos de las líneas son los promedios y las barras verticales muestran el error estándar, con letra igual no es significativo (Tukey,  $p>0.01$ ).

Con el valor de  $h^*=56$  en el inicio indica un color rosa-amarillo; los cambios muy ligeros se mostraron solamente a los 8 y 15 d de almacenamiento en los frutos a 10 °C con tratamientos físicos y los testigos (Figura 5. A, B, C). Los cambios altos se mostraron en los frutos almacenados a 25 °C, con un valor de  $h^*=35$ , 40, 49 en los del testigo, así como a 43 °C y 46 °C para los 8 d en los de madurez de consumo

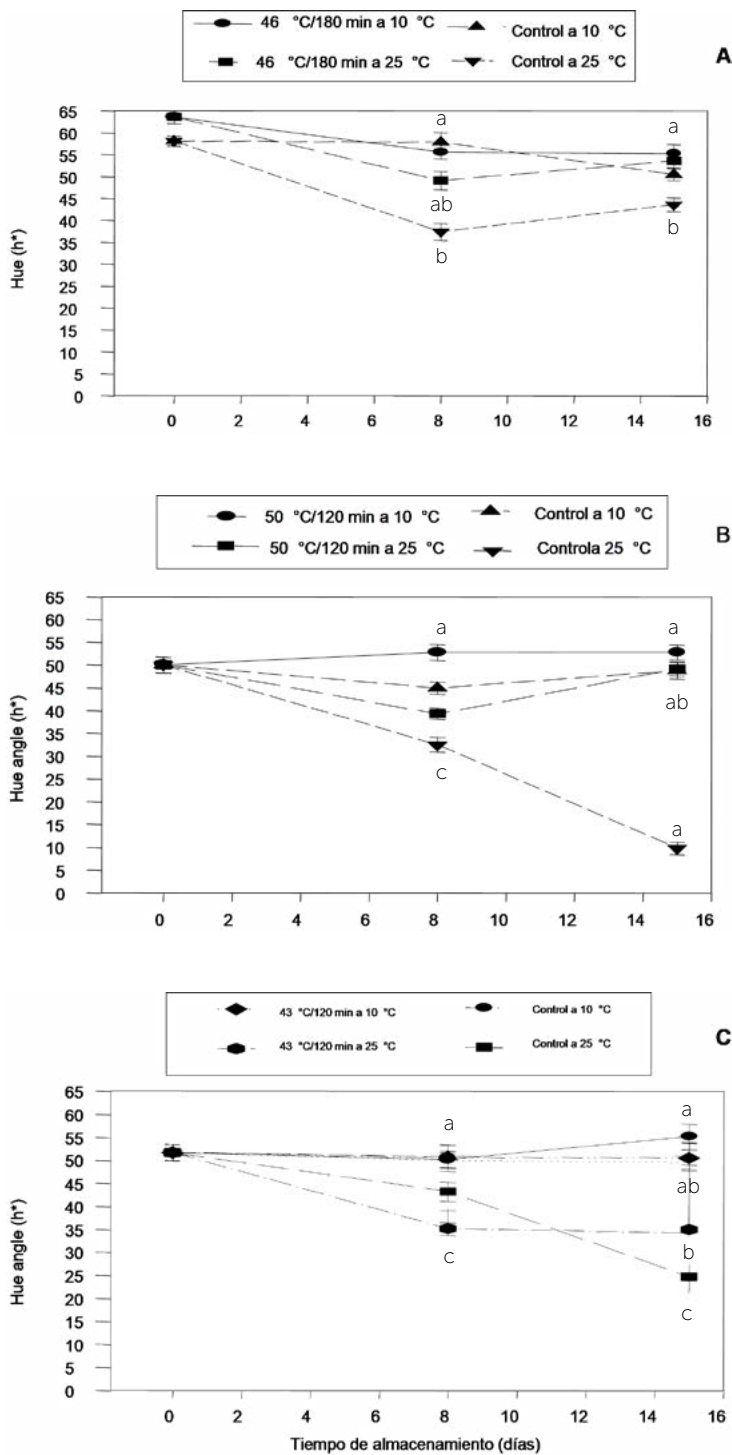


**Figura 4.** Cromo (C\*) de color del mesocarpio de los frutos tratados con aire caliente forzado y almacenados bajo dos temperaturas. Los puntos de líneas son promedios y las barras verticales muestran el error estándar (Tukey,  $p > 0.01$ ).

de color rojo a naranja, los cuales fueron diferentes estadísticamente a los de 50 °C/120 min ( $P > 0.01$ ), mientras que cambiaron a rojo intenso hasta los 15 d de almacenamiento en todos los tratamientos térmicos. La coloración del mesocarpio o pulpa cambia de rosa a naranja por la síntesis de  $\beta$ -caroteno o café

oscuro debido a la disminución en la síntesis de carotenoides (Díaz *et al.*, 2000; Alia *et al.*, 2007). Los valores de L\*, croma (C\*) y ángulo de matiz ( $h^*$ ) son los que arrojaron mayores cambios en la coloración de los frutos; sin embargo, los valores de  $a^*$  y  $b^*$  fueron interesantes en la interpretación de estos valores de color del mesocarpio, los cuales coinciden con los reportados por Díaz *et al.* (2000). Los cambios de la coloración de la pulpa se debieron a la aplicación de los tratamientos térmicos con altas temperaturas y los sistemas y tiempos de almacenamiento, por lo que presentaron diferencias estadísticamente ( $P > 0.01$ ).

**Daños en la pulpa.** Estos fueron más altos en los frutos tratados a 50 °C por 120 min y en ambos sistemas de almacenamiento. Asimismo, le siguieron a 46 °C/180 min a 25 °C, por lo que mostraron diferencias estadísticamente ( $P > 0.05$ ) e indicaron ser mayores; sin embargo, estos daños fueron menores o nulos a 43 °C/120 min, que fueron similares a los testigos (Figura 6 A, B y C). Los daños en los haces vasculares fueron de coloración muy oscura y con ligeras pudriciones de hongos que afectaron la calidad de la pulpa, de tal manera que se mostraron más oscuros y con mohos blancos a causa de *Pestalotia* sp. (Díaz *et al.*, 2000), por lo que fueron ocasionados por los efectos combinados de la baja temperatura en el almacén y de los tratamientos térmicos a altas temperaturas. Los frutos de sapote son severamente afectados por la síntesis de compuestos fenólicos y muy susceptibles a los daños por frío bajo el sistema de almacenamiento de temperaturas de refrigeración, ya que se trata de un frutal de tipo tropical (Saucedo *et al.*, 2001; Alia *et al.*, 2007); también se afectan por la oxidación de los carotenos presentes en la pulpa o mesocarpio (Bautista y Díaz, 1997). Los frutos a 50 °C/120 min fueron afectados entre la parte que conforma el epicarpio y mesocarpio; ahí se formaron huecos, se pusieron muy duros y no maduraron de manera normal. Los frutos dañados del testigo desprendieron olor fétido que pudiera ser un desarrollo de bacterias. Los frutos a 43 °C/120 min se mostraron sin daños y por consiguiente no se afectó la pulpa; por lo tanto, se considera como el mejor tratamiento térmico, ya que fue tolerado fácilmente por los frutos de sapote mamey.



**Figura 5.** Ángulo de matiz (h\*) de color del mesocarpio de los frutos, tratados con aire caliente forzado a tres temperatura y almacenados a dos temperaturas. Los puntos de las líneas son promedios y las barras verticales muestran el error estándar, con letra igual no es significativo (Tukey, p>0.01).

**Madurez al tacto.** Los frutos mantenidos a 25 °C fueron más blandos en su textura que los almacenados a 10 °C de los diferentes tratamientos térmicos, por lo que mostraron diferencias estadísticamente (P>0.01); sin embargo, se observó que a 50 °C/120 min fueron más duros y maduraron irregularmente, comparados con

los frutos a 46 °C/180 min y 43 °C/120 min. Por lo tanto, se presentó una mayor condensación del agua, lo que favoreció a una mejor textura de los frutos (Yahia y Ariza, 2001) (Figura 7 A, B y C). Los cambios en la madurez fueron más evidentes para los frutos almacenados de 8 d y fueron drásticos en los del testigo, por lo que estuvieron muy blandos a los 15 d de almacenados a 25 °C, lo cual indica que los frutos de sapote mamey maduran fácilmente después de la cosecha (Arenas et al., 2001). Aquellos mantenidos a 10 °C no sufrieron cambios en la madurez. El ablandamiento se debió a la síntesis de las enzimas en la pared celular, tales como son poligalacturonasa y celulasa, que contribuyen a acelerar el proceso de maduración y senescencia (Brownleader et al., 1999; Arenas et al., 2001). Los efectos del aire caliente forzado húmedo en los frutos de sapote mamey, fueron a 50 °C/120 min y 46 °C/180 min; sin embargo, los del testigo fueron más afectados en prolongación de su vida de anaquel. Los frutos a 43 °C/120 min mantuvieron su calidad, toleraron al tratamiento de aire caliente forzado y, por ende, se mantiene la vida de anaquel.

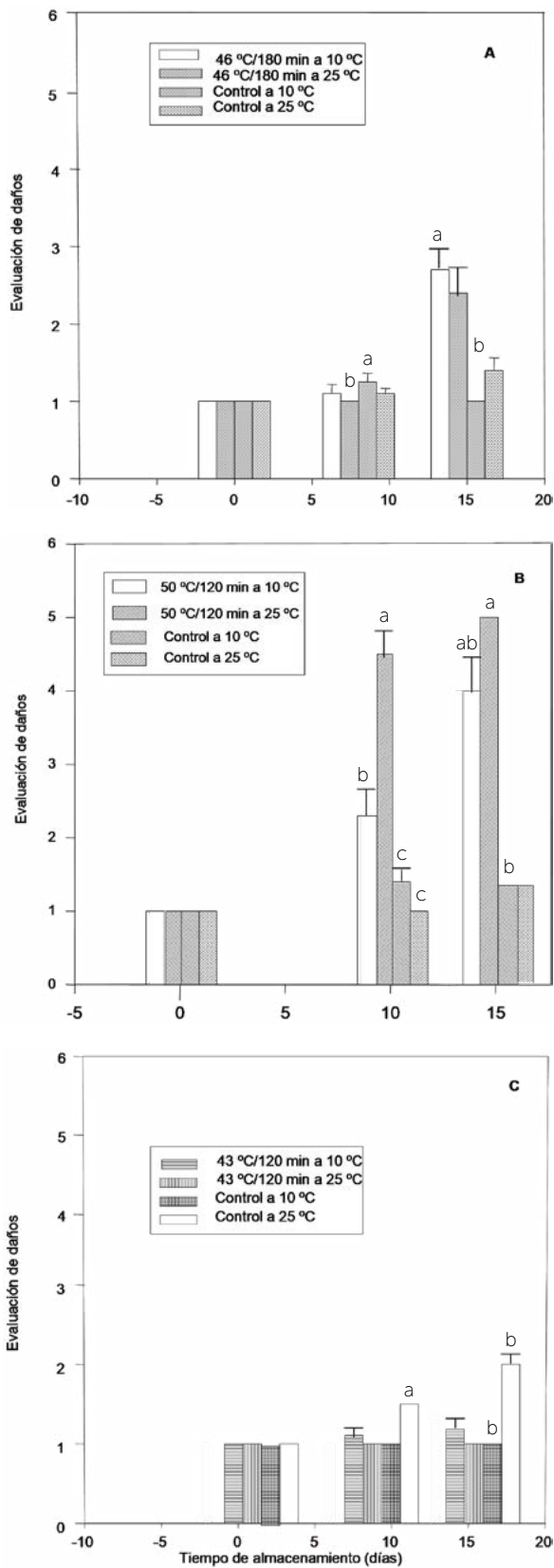
## CONCLUSIONES

El mejor tratamiento térmico sin afectar a los frutos cosechados en la madurez fisiológica fue a 43 °C/120 min y mantiene la mayor vida de anaquel. Los mayores cambios en la pérdida de peso, firmeza y color se presentaron en los frutos almacenados a 25 °C, mientras que a 10 °C no fueron significativos. También, los frutos en madurez de consumo tratados a 43 °C/120 min no presentaron daños en la calidad de la pulpa, con respecto a los tratamientos de 46 °C por 120 min; sin embargo, estos últimos toleraron al tratamiento térmico y no afectaron la vida de anaquel. Los tratamientos térmicos ayudan a prolongar la vida de anaquel de los frutos, ya que los testigos se mostraron mas afectados, se ablandaron y tornaron rápidamente a senescentes; por lo tanto, se afectan en su fisiología.

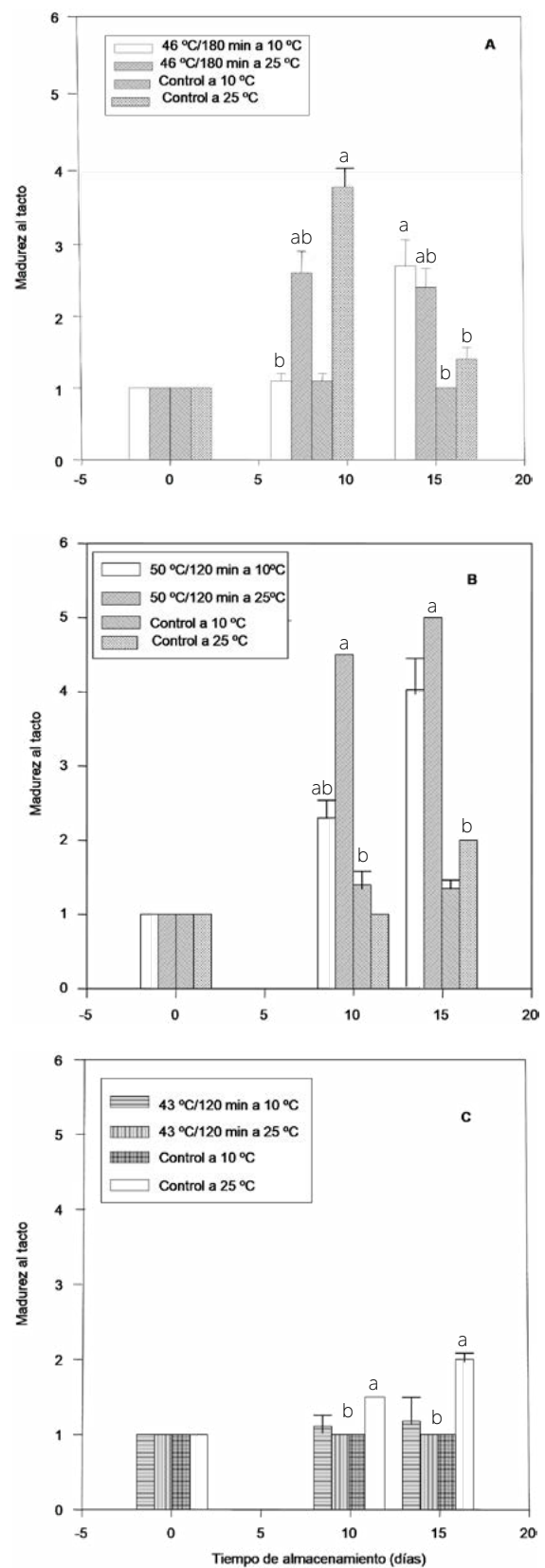
## LITERATURA CITADA

Alia-Tejagal I., Colinas-León M. T., Martínez-Damián M. T., Soto-Hernández M. R. 2005a. Daños por frío en sapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn), I. Cambios en volátiles, firmeza y azúcares totales. Revista Fitotecnia Mexicana, 28:17-24.





**Figura 6.** Daños en los haces vasculares de la pulpa de los frutos de sapote mamey tratados con aire caliente forzado y almacenados a 10 y 25 °C. Las figuras presentan a los tratamientos: A. 46°C/180 min, B. 50°C/120 min, C. 43°C/180, 150 y 120 min. Los puntos de las líneas son los promedios y las barras verticales muestran el error estándar, con letra igual no es significativo (Tukey,  $p > 0.05$ ).



**Figura 7.** Evolución de la madurez al tacto de los frutos de sapote mamey, tratados con aire caliente forzado en tiempos de exposición diferentes y almacenados bajo dos temperaturas. Las figuras presentan a los tratamientos: A. 46°C/180 min, B. 50°C/120 min, C. 43°C/180, 150 y 120 min. Los puntos de las líneas son los promedios y las barras verticales muestran el error estándar; con letra igual no es significativo (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

- Alia-Tejagal I., Colinas-León M. T., Martínez-Damián M. T., Soto-Hernández M. R. 2005b. Daños por frío en sapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn), I. Cambios en fenoles totales y actividad enzimática. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28:25-32.
- Alia-Tejagal I., Villanueva R., Pelayo C., Colina-León M. T., López-Martínez V., Bautista S. 2007. Postharvest physiology and technology of sapote mamey fruit (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn). *Postharvest Biol. Technol.*, 45:285-297.
- Arenas, M.L., Evangelista L., Dávila O., Arana R., Jiménez A., Martínez V. 2001. Actividad de la pectinmetilesterasa y poligalacturonasa relacionadas con el ablandamiento del mamey *Pouteria sapota*. *Horticultura Mexicana*, 8(3):192.
- Azudia C. 2006. Tres especies de zapote en América tropical. Southampton, UK: Southampton Centre for Underutilised Crops, Universidad de Southampton.
- Bautista S., Díaz J.C. 1997. Evaluation of postharvest diseases in sapote mamey *Pouteria sapota* from Coatlán del Río, Morelos, México. *Hortic. Mex.* 5 (1), 168.
- Brownleader P., Jackson P., Mobasher A., Pantelides A. T., Sumar S., Trevan M., Dey P.M. 1999. Molecular aspects of cell wall modifications during fruit ripening. *Crit. Rev. Food Sci. Nut.*, 39:149-164.
- Díaz J. C., Bautista S., Villanueva R. 2000. Quality changes in sapote mamey fruit during ripening and storage. *Postharvest Biol. Technol.* 18:67-73.
- Jitthum A., Wong-Arce C., Kanlayanarat S. 2002. Effect of heat treatment and calcium chloride on chilling injury of *Achras sapota* Linn. *Agricultural Science Journal*, 33(6):122-126.
- Kader A. 1992. Postharvest technology of horticultural crops. Second edition, University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Publication 3311.
- Ke D., Kader A. 1992. Potential of controlled atmospheres for postharvest insect desinfestation of fruits and vegetables. *Postharvest News and Information* 3(2):31N-37N.
- Lurie S. 1998. Postharvest heat treatments. *Postharvest Biol. Technol.* 14:257-269.
- Paul E. 1994. Response of tropical horticultural commodities to insect desinfestation treatments. *HortScience*, 29:988-996.
- Rahman R., Rigney C., Busch-Petersen E. 1990. Irradiation as a quarantine treatment against *Ceratitidis capitata* (Diptera: Tephritidae): Anatomical and cytogenetic changes in marute larvae after gamma irradiation. *J. Econ. Entomol.*, 83:1449-1454.
- Saucedo V.C., Martínez-López A., Chávez-Franco S. H., Soto-Hernández R. M. 2001. Maduración de los frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn) tratados con etileno. *Rev. Fitotecnia Mexicana*, 24 (2):231-234.
- SAS Institute Inc. 2009. SAS user's guide: Statistics. Release 6.03. Ed. SAS Institute Incorporation, Cary, N.C. USA. 1028 p.
- Shellie C., Mangan L. 1994. Postharvest quality of 'Valencia' orange after exposure to hot, moist forced air for fruit fly desinfestation. *HortScience*, 29:1524-1527.
- Siddiqui M. W., Dua R.S. 2010. Eating artificially ripened fruits is harmful. *Curr. Sci.*, 99(12):1664-1668.
- Siddiqui M.W., Longhumer M. 2014. Postharvest biology and technology of sapota: a concise review. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36(12):3115-3122.
- Yahia E.M. 1998. Modified and controlled atmospheres for tropical fruits. *Horticultural Rev.* 22:123-183.
- Yahia E.M. 2006. Modified and controlled atmospheres for tropical fruits. *Stewart Postharvest Rev.* 22:123-183.
- Yahia E.M, Ortega D. 2000. Mortality of eggs and third instar larvae of *Anastrepha ludens* and *A. obliqua* with insecticidal controlled atmospheres at high temperatures. *Postharvest Biol. Technol.*, 20:295-302.
- Yahia E.M., Ariza-Flores R. 2001. Tratamientos físicos en poscosecha de fruta y hortaliza. *Rev. Horticultura*, Extra:80-89, 153.

