

**DAÑOS POR FRÍO EN ZAPOTE MAMEY (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn).  
I. CAMBIOS EN VOLÁTILES, FIRMEZA Y AZÚCARES TOTALES**

**CHILLING INJURY IN SAPOTE MAMEY (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn).  
I. CHANGES IN VOLATILES, FIRMNESS AND TOTAL SUGARS**

**Irán Alia Tejacal<sup>1\*</sup>, María Teresa Colinas León<sup>2</sup>, María Teresa Martínez Damián<sup>2</sup> y  
Ramón Marcos Soto Hernández<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad 1001, C.P. 62210, Cuernavaca, Morelos, México. Correo electrónico: ijac96@yahoo.com.mx <sup>2</sup>Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carr. México-Texcoco. C. P. 56230 Chapingo, Edo. de México. <sup>3</sup>Especialidad de Botánica, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carr. México-Texcoco. C. P. 56230 Montecillo, Edo. de México,

\* Autor para correspondencia

## RESUMEN

En frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn) se estudió la maduración a temperatura ambiente (20 °C) y el comportamiento de este proceso durante y posterior al almacenamiento a bajas temperaturas (5, 10 y 15 °C). Los frutos de zapote mamey almacenados a 20 °C por 12 d con una humedad relativa de 50-60 %, presentaron un máximo de CO<sub>2</sub> (85.3 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) y uno de etileno (258.7 μL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), así como aumentos en la acumulación de acetaldehído y etanol de 21.9 y 6.4 en madurez fisiológica a 62.7 y 99.7 mg kg<sup>-1</sup> en madurez de consumo, respectivamente; incremento en la concentración de azúcares totales de 82.7 a 267.3 mg g<sup>-1</sup>, pérdidas diarias de peso de 1.02 % y disminución de firmeza de 30 a 1-4 N. El almacenamiento a 5 °C y humedad relativa de 85 % por 20 d causó daños por frío en los frutos, debido a aumentos de 72.8 y 47.5 %, en las tasas de respiración y de producción de etileno con respecto al testigo; menor acumulación de etanol y acetaldehído (50 y 46.6 mg kg<sup>-1</sup>), menor acumulación de azúcares totales (200 mg g<sup>-1</sup>) y menor ablandamiento (21.8 N), a los 8 d después de haber sido transferidos a temperatura ambiente. Los síntomas visibles del daño por frío fueron la presencia de áreas oscurecidas en la pulpa, incapacidad de desarrollar el color característico, y zonas acuosas y endurecidas cerca de la semilla. El almacenamiento a 10 °C provocó daños por frío en menor intensidad, mientras que los frutos almacenados a 15 °C no presentaron daños por frío. Las pérdidas de peso se elevaron al aumentar la temperatura de almacenamiento, pero después de transferirse a temperatura ambiente las pérdidas diarias de peso fueron de 1.08 % y similares entre tratamientos.

**Palabras clave:** *Pouteria sapota*, daño por frío, acetaldehído, etileno, respiración.

## SUMMARY

Ripening of sapote mamey fruits (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn) was studied at room temperature (20 °C), during and after storage at low temperatures (5, 10 and 15 °C). Fruits stored for 12 d at 20 °C and 50-60 % relative humidity showed one CO<sub>2</sub>

peak (85.3 mL kg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>) and one ethylene peak (258.7 μL kg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>), as well as increases in ethanol and acetaldehyde from 21.9 and 6.4 at physiological maturity to 62.7 and 99.7 mg kg<sup>-1</sup> at commercial maturity; increases in total sugars from 82.7 to 267.3 mg g<sup>-1</sup>, daily weight losses of 1.02 %, and decrease in firmness from 30 to 1-4 N, were also observed. Storage at 5 °C and 85 % HR for 20 d caused chilling injury in fruits, measured 8 d after transfer to room temperature, which were associated to increases in respiration and ethylene production of 72.8 and 47.5 %, respectively, as compared to controls; lower ethanol and acetaldehyde accumulation (50 and 46.6 mg kg<sup>-1</sup>), as well as a lower total sugar content (200 mg g<sup>-1</sup>) and lesser fruit softening (21.8 N). Chilling injury visual symptoms in the flesh were: dark areas in the flesh, failure to ripen, inability to develop the characteristic pulp color, water-soaking areas and hard zones near the seed. Storage at 10 °C caused little chilling injury, while no damage was observed in fruits stored at 15 °C. Weight losses were directly proportional to storage temperature, but after transferring to room temperature the daily weight losses (1.08 %) were similar among treatments.

**Index words:** *Pouteria sapota*, chilling injury, acetaldehyde, ethylene, respiration.

## INTRODUCCIÓN

México presenta un gran potencial frutícola. Actualmente cuenta con 63 especies de frutas comercializadas y 220 especies con potencial desconocido, aunque está documentada su utilidad (Borys y Leszczyńska-Borys, 2001). El zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn) se ubica dentro de este grupo de especies, y es considerada una de las frutas más deliciosas del continente americano y con un gran potencial económico en muchas regiones como fuente alternativa para la diversificación de la agricultura, desarrollo agroindustrial para la producción de frutos y subproductos con alto valor nutricional,

también presenta un potencial para exportación (Arzudía *et al.*, 1995).

Las frutas continúan desarrollando procesos metabólicos después de su recolección y mantienen procesos fisiológicos similares que cuando se hallaban unidas a la planta madre (Wills *et al.*, 1998). La mayoría contienen un alto contenido de agua (>80 g/100 g de producto). Las perecederas exhiben una alta actividad metabólica (Tucker, 1993). Una forma de reducir ésta es el almacenamiento a bajas temperaturas (Herrero y Guardia, 1992). El manejo de la temperatura es la herramienta más efectiva para extender la vida poscosecha de los productos hortícolas (Kader, 2002a).

El fruto del zapote mamey es demandado para su consumo en fresco (Pennington y Sarukhán, 1998). Por su excelente sabor, goza de un buen aprecio en toda América Central y en Florida, Estados Unidos de América, debido a la emigración de cubanos y centroamericanos (Balerdi *et al.*, 1996; Gazel *et al.*, 1999). Sin embargo, debido a que es hospedero de *Anastrepha serpentina* (Wiedemann) (Aluja, 1993), no se puede transportar a áreas de México y otros países libres de esta plaga (Díaz *et al.*, 2001). Además, existe poca información sobre el comportamiento poscosecha de este fruto al utilizar tecnologías de almacenamiento a bajas temperaturas, atmósferas controladas y modificadas, entre otras, que serán de importancia para poder comercializar este fruto a regiones distantes (Alia *et al.*, 2002). Díaz *et al.* (2003) mencionan la falta de información de atributos de calidad para 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 extender la vida poscosecha del fruto. El presente trabajo es parte de una serie de estudios enfocados a determinar el efecto de las bajas temperaturas en aspectos fisiológicos, bioquímicos y de calidad de los frutos de zapote mamey, que podrán contribuir al mayor conocimiento y manejo de este fruto.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En julio de 2001 se colectaron 200 frutos con un peso promedio de 327 g en Coatlán del Río, Morelos, originados de material criollo. Los frutos fueron cosechados de acuerdo con el criterio del productor, que consiste en eliminar una pequeña porción de la cáscara en el ápice y base del fruto; si la pulpa presenta una coloración rosa - naranja se cosecha y alcanzará madurez de consumo. El material vegetal se transportó al Laboratorio de Fisiología de Frutales de la Universidad Autónoma Chapingo, donde se acondicionaron a temperatura ambiente ( $20 \pm 2$  °C) por 5 h

para posteriormente ser almacenados a diferentes temperaturas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos evaluados.

Tratamiento	Número de frutos
12 d a 20 °C; HR de 50-60 % (referencia)	35
20 d a 15 °C; HR de 85 % + 8 d a 20 °C; HR de 50-60 %	40
20 d a 10 °C; HR de 85 % + 8 d a 20 °C; HR de 50-60 %	40
20 d a 5 °C; HR de 85 % + 8 d a 20 °C; HR de 50-60 %	40

El diseño experimental fue uno completamente al azar; la unidad experimental fue un fruto con cinco repeticiones. Las variables destructivas se evaluaron cada 2 d a temperatura ambiente en los frutos testigo. En los frutos almacenados a bajas temperaturas se realizaron evaluaciones cada 5 d durante el almacenamiento y cada 2 d una vez transferidos a temperatura ambiente. Las variables no destructivas se evaluaron diariamente en todos los tratamientos, y únicamente a temperatura ambiente. El análisis inicial se realizó el día de cosecha y así fue considerado para todos los tratamientos.

**Variables no destructivas.** Se evaluó la velocidad de respiración y producción de etileno mediante el método estático que consistió en colocar dos frutos por recipiente en un frasco de vidrio de volumen entre 2.3 y 2.4 L, por 1 h. Posteriormente, con una jeringa hipodérmica se tomaron 5 mL del espacio vacío el cual se trasladó a un Vacutainer (al vacío) y se almacenó a -20 °C hasta su evaluación (Kader, 2002 b; Alia *et al.*, 2002). La determinación se realizó con 1 mL tomado del Vacutainer que se inyectó en un cromatógrafo de gases Hewlett Packard 5890 Serie II equipado con columna empacada de sílica fundida y fase estacionaria Poraplot Q y detectores de ionización de flama y de conductividad térmica. La temperatura del horno fue de 80 °C, 150 °C en el inyector y 150 °C detector; como gas de arrastre se utilizó helio. En estos mismos frutos se evaluó el porcentaje de pérdida de peso acumulada diaria mediante la diferencia del peso inicial y final durante el tiempo del experimento.

**Variables destructivas.** La producción de etanol y acetaldehído se evaluó mediante el método propuesto por Davies y Chace (1969), que consiste en picar finamente 5 g de tejido de cada fruto y colocarlos en viales sellados con una tapa de goma y aluminio, los cuales se almacenaron a -20 °C, hasta su evaluación. Cada vial se incubó por 15 min en baño maría a 30 °C. Posteriormente se tomó un mL del espacio vacío y se inyectó en el cromatógrafo de gases Hewlett Packard Serie 5890 serie II. La temperatura del inyector fue de 150 °C, en la columna de 145 °C y en el detector de 150 °C. El gas de arrastre fue helio.

La firmeza se evaluó con un analizador de textura TA-xT2i adaptado con un cono de prueba (Parte Núm. P/45 c). Las condiciones de prueba fueron: velocidad de ensayo  $4.0 \text{ mm s}^{-1}$  y distancia de penetración 5 mm. Los valores se reportan en newtons (N) (Valle *et al.*, 2002). Los azúcares totales se evaluaron con el método de antrona (Whitam *et al.*, 1971); también fueron descritos los síntomas visibles del daño por frío en los frutos utilizados para los análisis destructivos. Las observaciones se realizaron en la pulpa del fruto.

Los resultados de los tratamientos almacenados a bajas temperaturas se sometieron a un análisis de varianza y comparación de medias por el método de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) por día; los frutos almacenados a temperatura ambiente solamente se usaron como referencia. En las figuras que ilustran el comportamiento de las variables evaluadas, se usaron las medias y sus errores estándar para la referencia, (testigo) y en los tratamientos a bajas temperatura se muestra su similitud estadística por día.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Respiración y producción de etileno

Los frutos testigo presentaron un comportamiento climatérico típico, con incrementos en la producción de etileno y  $\text{CO}_2$  que llegaron a sus máximos 6 y 8 d después de la cosecha. El pico de  $\text{CO}_2$  estuvo precedido por el de etileno por 2 d (Figura 1); los valores máximos fueron de  $258.7 \mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  y  $85.3 \text{ mL kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  para etileno y  $\text{CO}_2$ , respectivamente. El comportamiento climatérico del zapote mamey ha sido reportado anteriormente (Villanueva *et al.*, 2000; Alia *et al.*, 2002).

El análisis estadístico detectó diferencias significativas en los frutos almacenados a bajas temperaturas ( $P \leq 0.05$ ) en la producción de  $\text{CO}_2$  y etileno (Figura 1). Los frutos almacenados a  $5^\circ\text{C}$  y luego por 8 d a  $20^\circ\text{C}$  mostraron los valores mayores de producción de  $\text{CO}_2$  y etileno, con  $144.7 \text{ mL kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  y  $381.6 \mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , respectivamente. Estos máximos superan en 72.8 y 47.5 % para  $\text{CO}_2$  y etileno a los de frutos testigo (Figura 1A). Una elevada producción de  $\text{CO}_2$  luego de ser transferidos a temperatura ambiente, es una respuesta característica del daño por frío, sobre todo en especies sensibles, y se puede utilizar como un índice de la severidad del daño (Lyons y Breindenbach, 1990). En el caso de etileno las respuestas varían entre especies, ya que en frutos de papaya (*Carica papaya*) se registró una producción elevada de este gas al transferir a  $24^\circ\text{C}$  después de 4 d de almacenamiento a  $5^\circ\text{C}$  (Chan *et al.*, 1985). En contraste cuando los frutos de pepino (*Cucumis sativus* L.) fueron almacenados a  $2.5^\circ\text{C}$  por más de

4 d registraron una disminución en la producción de etileno (Wang y Adams, 1982).

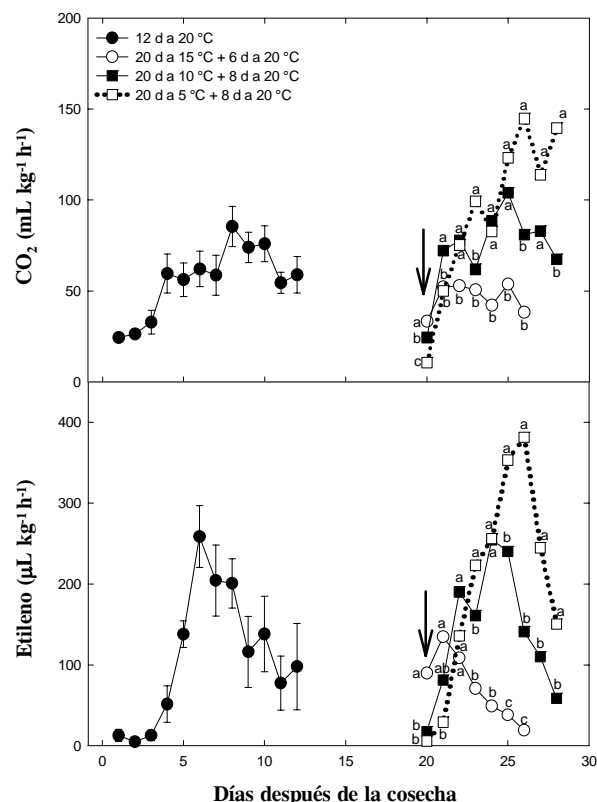


Figura 1. Respiración (A) y producción de etileno (B) en frutos de zapote mamey almacenados a diferentes temperaturas. Cada punto representa la media de cinco observaciones  $\pm$  error estándar (testigo). Las flechas verticales indican la transferencia a temperatura ambiente. Letras iguales entre los tratamientos a bajas temperaturas por día indican similitud estadística ( $P \leq 0.05$ ).

Los frutos almacenados a  $10^\circ\text{C}$  presentaron un máximo de  $\text{CO}_2$  que superó en 21.9 % al testigo, pero con valores similares en etileno ( $103.9 \text{ mL kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  y  $130.9 \mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  de etileno); los máximos ocurrieron a los 5 y 4 d después del almacenamiento (Figura 1). Esto indica que la exposición a esta temperatura afectó el comportamiento de la respiración en menor proporción que en los frutos almacenados a  $5^\circ\text{C}$ , no así la producción de etileno que fue muy similar a la de los frutos testigo. Los frutos almacenados a  $15^\circ\text{C}$  presentaron una menor producción de etileno y de  $\text{CO}_2$ , y alcanzaron sus máximos a los 1 y 5 d después de haberlos transferido a temperatura ambiente, con valores de  $134.7 \mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  y  $53.7 \text{ mL kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  respectivamente; tales valores son inferiores en 47.9 y 37.2 % que los máximos en los frutos testigo. Los resultados a  $15^\circ\text{C}$  indican que durante el almacenamiento es probable que no se detuviera la producción de estos gases y que al

transferirse a 20 °C alcanzaron en menor tiempo los máximos de producción por efecto del cambio de temperatura. Según Tucker y Grierson (1987), el incremento en respiración está regulado por el incremento en temperatura y en producción de etileno; una situación similar pudo ocurrir en el presente trabajo.

**Pérdidas de peso**

La pérdida de peso a la madurez de consumo fue de 10.2 % (1.02 % por día) en los frutos testigo (Figura 2). Saucedo *et al.* (2001) reportaron valores muy similares de pérdida de peso diaria (1.1 %) en frutos de la misma región. También en esta variable hubo diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre tratamientos (Figura 2). A la salida del almacenamiento las pérdidas de peso diarias fueron de 0.38, 0.22 y 0.19 % a 15, 10 y 5 °C, respectivamente. Este comportamiento se atribuye a las diferencias en la presión de vapor alrededor del fruto a las diferentes temperaturas de almacenamiento (Díaz *et al.*, 2000). Después de ser transferidos a 20 °C las pérdidas diarias a temperatura ambiente fueron de 1.08 % en todos los tratamientos (Figura 2). En zapote mamey la rapidez de maduración del fruto a altas temperaturas ocurre de manera paralela a la pérdida acelerada de agua (Díaz *et al.*, 2000).

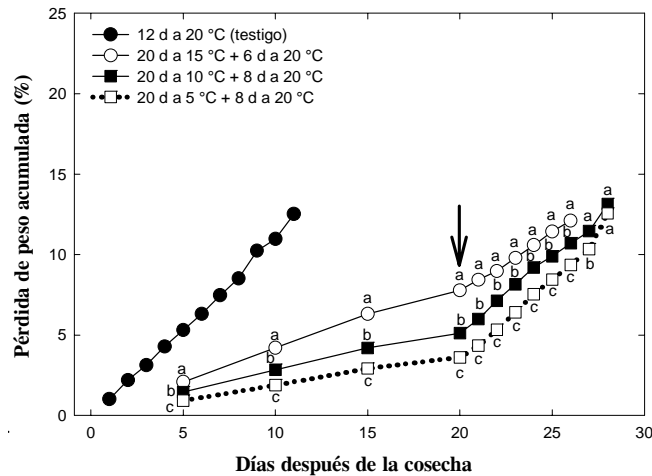


Figura 2. Pérdidas de peso acumuladas en frutos de zapote mamey almacenados a diferentes temperaturas. Cada punto representa la media de diez observaciones  $\pm$  error estándar (cuando no se observan las barras es por que se encuentran dentro de los límites de los símbolos). La flecha vertical indica la transferencia a temperatura ambiente. Letras iguales en los tratamientos a bajas temperaturas por día indican similitud estadística ( $P \leq 0.05$ ).

**Firmeza**

La tendencia de los frutos testigo fue reducir la firmeza (Figura 3). Al inicio de la cosecha (preclimaterio) presen-

taban valores promedio cercanos a 30 N, y a los 8 d después disminuyó en 22.8 % (22.63 N) y 10 d más tarde la firmeza decayó en 57 % (postclimaterio), por lo que esta última etapa se determinó como de madurez de consumo. Sin embargo, la dispersión de los datos en este muestreo fue amplia ( $12.8 \pm 10.95$  N) ya que los frutos maduros presentaron entre 1 y 4 N de firmeza, mismos que representan disminuciones entre 87.7 y 96.7 %. Arenas *et al.* (2003) indican que en zapote mamey la mayor disminución de la firmeza ocurre entre el climaterio y el postclimaterio, similar a lo observado en el presente trabajo.

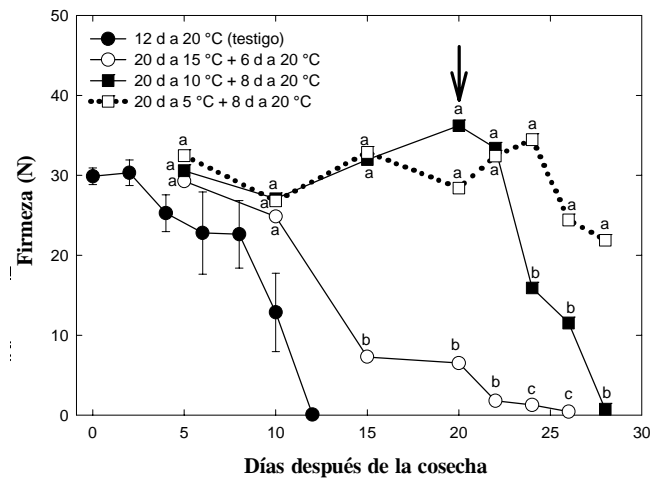


Figura 3. Comportamiento de la firmeza en frutos de zapote mamey almacenados a diferentes temperaturas. Cada punto representa la media de cinco observaciones  $\pm$  error estándar (testigo). La flecha vertical indica la transferencia a temperatura ambiente. Letras iguales en los tratamientos a bajas temperaturas por día indican similitud estadística ( $P \leq 0.05$ ).

También se detectaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los frutos almacenados a bajas temperaturas y luego transferidos a 20 °C. Durante el almacenamiento por 20 d a 10 y 5 °C la firmeza de los frutos se mantuvo constante (Figura 3), probablemente porque el enfriamiento disminuyó los procesos de ablandamiento (Wills *et al.*, 1998). Cuando fueron transferidos a temperatura ambiente, el comportamiento de los frutos fue distinto; así, en los frutos almacenados a 10 °C la firmeza disminuyó constantemente hasta llegar a la madurez de consumo en 6 d (11.54 N), mientras que en los frutos almacenados a 5 °C la firmeza disminuyó hasta 21.8 N, después de 8 d, lo que evidencia que el almacenamiento a 5 °C retarda el proceso de ablandamiento.

Un síntoma de daño por frío es la incapacidad para madurar en frutos tropicales y subtropicales (Wang, 1994). Se ha documentado que el almacenamiento de zapote mamey a temperaturas de 10 °C afecta la maduración normal

(Díaz *et al.*, 2000). En este trabajo la temperatura de 5 °C provocó incapacidad del fruto para madurar (Figura 3). Los frutos almacenados a 15 °C maduraron durante el almacenamiento, lo que demuestra que esta temperatura no detiene los procesos relacionados con la maduración.

### Producción de acetaldehído y etanol

Los frutos testigo aumentaron la concentración de acetaldehído de 21.9 mg kg<sup>-1</sup> de peso fresco hasta 62.7 mg kg<sup>-1</sup> en la madurez de consumo, lo que representa un aumento de 186 % (Figura 4 A). No existen reportes de la producción de este gas en zapote mamey, pero sí en otras especies de la misma familia; Arévalo *et al.* (1999) observaron que durante la maduración de chicozapote (*Manilkara sapota* L.) a 20 °C y 60-65 % de humedad relativa, el contenido de acetaldehído en pulpa se elevó de 3.14 a 30.8 mg kg<sup>-1</sup> durante un periodo de 8 d.

en el almacenamiento de 20 d a bajas temperaturas. A 20 °C, los frutos provenientes del almacenamiento a 10 °C presentaron un pico exagerado de concentración (82 mg kg<sup>-1</sup>), para posteriormente retornar a niveles relativamente constantes entre 52.8 y 58.7 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 4 A). En contraste, los frutos almacenados a 15 °C mostraron una reducción continua después de la salida del almacenamiento (Figura 4 A). El acetaldehído es un componente natural de los tejidos vegetales, que se acumulan en niveles muy bajos durante la maduración de frutos (Podd y Van Staden, 1998) debido a condiciones de hipoxia; además, es uno de los componentes naturales del aroma (Zuckerman *et al.*, 1997). Lo anterior puede explicar el comportamiento descrito en los frutos testigo y en aquéllos a 15 y 10 °C. Los resultados también indican que el almacenamiento en frío no detiene completamente el proceso de maduración en zapote mamey.

Durante el almacenamiento a 5 °C los frutos presentaron la menor producción de este gas con valores de 8.0 mg kg<sup>-1</sup>, pero a los 20 d dicha producción se elevó a 24.8 mg kg<sup>-1</sup> de peso fresco (Figura 4 A). Una vez transferidos a 20 °C mostraron un incremento continuo hasta alcanzar valores de 50.0 mg kg<sup>-1</sup>, a los 8 d de almacenamiento (Figura 4 A). La menor acumulación durante el almacenamiento indica que la temperatura de 5 °C inhibió los procesos relacionados con la maduración.

El etanol se forma debido a una reducción rápida de acetaldehído, por acción del NADH (Salisbury y Ross, 1994). En los frutos testigo el etanol presentó niveles entre 6.4 y 36.3 mg kg<sup>-1</sup> después de los primeros 8 d; posteriormente hubo un incremento hasta de 99.7 y 325 mg kg<sup>-1</sup> en madurez de consumo y sobremaduración (Figura 4 B), respectivamente. Al igual que en el acetaldehído, no existe información previa del comportamiento de etanol en zapote mamey; en chicozapote, Arévalo *et al.* (1999) determinaron un incremento de 1.8 a 30.8 mg kg<sup>-1</sup> en las condiciones mencionadas previamente. En condiciones naturales la proporción acetaldehído/etanol es 1:1 y se puede incrementar a 1:5 ó 1:2 por la exposición del fruto a altos niveles de CO<sub>2</sub> (Podd y Van Staden, 1998). En el presente experimento se encontró una proporción de 1 parte de acetaldehído y 2 de etanol durante los 10 d después de la cosecha y posteriormente de 1:5. En chicozapote la proporción se mantiene 1:1 durante todo el proceso de maduración (Arévalo *et al.*, 1999).

Los frutos almacenados a 10 y 15 °C mostraron un comportamiento diferente de los frutos almacenados a 5 °C (P ≤ 0.05). A 5 °C los frutos presentaron un comportamiento constante tanto en el almacenamiento como una vez transferidos a 20 °C (Figura 4 B), mientras que los frutos almacenados a 10 y 15 °C presentaron un

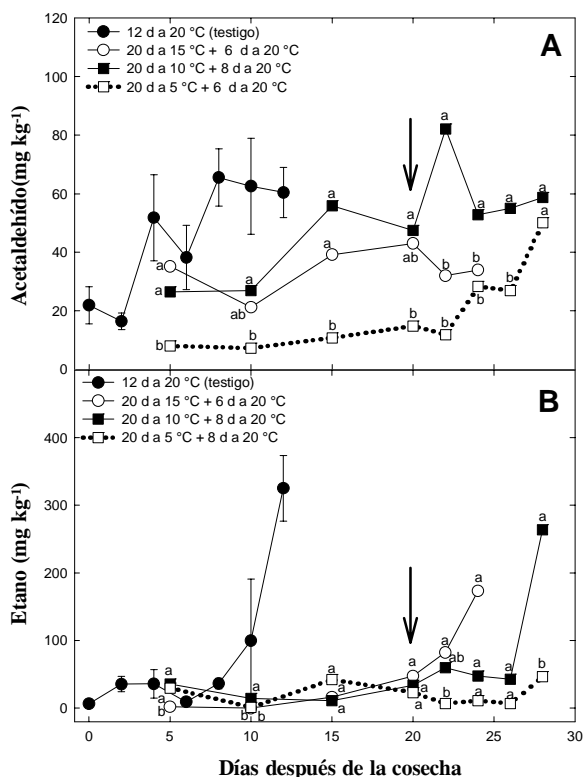


Figura 4. Producción de acetaldehído(A) y etanol (B) en frutos de zapote mamey almacenados a diferentes temperaturas. Cada punto representa la media de cuatro observaciones ± error estándar (testigo). La flecha vertical indica la transferencia a temperatura ambiente. Letras iguales en los tratamientos a bajas temperaturas por día indican similitud estadística (P ≤ 0.05).

Los frutos almacenados a 10 y 15 °C aumentaron (P ≤ 0.05) su concentración de acetaldehído (116 y 104 %)

comportamiento similar a los frutos testigo una vez transferidos a 20 °C (Figura 4 B). Como se mencionó anteriormente, los frutos almacenados a 5 °C por 20 d no maduraron como los frutos testigo, en los cuales se observó durante el experimento que el etanol aumenta en la maduración; este efecto se atribuye a la baja temperatura.

### Azúcares totales

En los frutos testigo los azúcares totales aumentaron de 82.7 a 267.3 mg g<sup>-1</sup> en la madurez fisiológica y de consumo, respectivamente (Figura 5). Estos valores son similares a los máximos (297 mg g<sup>-1</sup>) reportados por Morton (1987). En los frutos almacenados a 10 y 15 °C por 20 d, las concentraciones de azúcares totales al momento de salir del almacenamiento habían aumentado de 82.7 a 120.2 y 310.1 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente; en contraste, los azúcares totales se mantuvieron constantes en los frutos almacenados a 5 °C durante el mismo periodo (Figura 5). Los frutos de chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) almacenados a 1 y 4 °C también retrasan la acumulación de sólidos solubles totales (Gutiérrez *et al.*, 1994). Una vez transferidos a 20 °C en los frutos almacenados de las dos primeras temperaturas se observó una continua disminución de los azúcares totales durante 6 d. En los frutos almacenados a 5 °C los azúcares totales fueron aumentando con el transcurso del tiempo a 20 °C (Figura 5), pero este aumento fue menor (200 mg g<sup>-1</sup>) que en los tratamientos anteriores ( $P \leq 0.05$ ). Estos resultados sugieren que el metabolismo de azúcares totales a 20 °C es afectado por el almacenamiento previo a 5 °C durante 20 d.

### Observaciones de daños por frío

Los frutos almacenados a 5 °C presentaron síntomas visibles de daño por frío 20 d después de la cosecha y después de su transferencia a 20 °C. Los síntomas fueron: áreas oscurecidas en la pulpa (con alta concentración de polifenoles; datos no mostrados), incapacidad de maduración y detención del desarrollo del color característico en la pulpa de naranja o rojo. Además, a los 6 - 8 d después de la transferencia a temperatura ambiente se presentaron zonas acuosas en la pulpa (mesocarpio) y endurecidas cerca de la semilla (endocarpio) (Figura 6). Algunos de estos síntomas se han descrito por Rolz (1973) y Díaz *et al.* (2000). En los frutos almacenados a 10 °C estos síntomas se presentaron en menor proporción, mientras que en los frutos almacenados a 15 °C no se observaron.

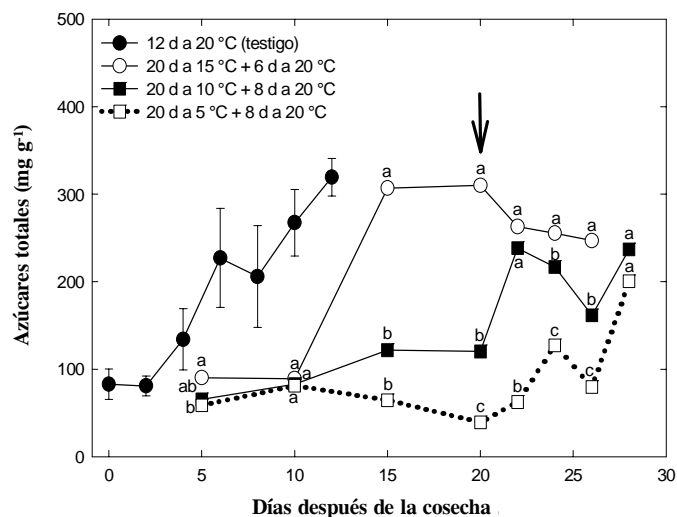


Figura 5. Comportamiento de los azúcares totales en frutos de zapote mamey almacenados a diferentes temperaturas. Cada punto representa la media de cinco observaciones  $\pm$  error estándar (testigo). La flecha vertical indica la transferencia a temperatura ambiente. Letras iguales en los tratamientos a bajas temperaturas por día indican similitud estadística ( $P \leq 0.05$ ).

### CONCLUSIONES

Durante la maduración los frutos de zapote mamey presentan un máximo de producción de CO<sub>2</sub> y otro de etileno; también presentan aumentos en las concentraciones de etanol, acetaldehído y azúcares totales, asociados con pérdidas de peso y disminución de firmeza. Las pérdidas de peso son afectadas por las condiciones de almacenamiento, pero son similares una vez que son transferidos a temperatura ambiente. El almacenamiento a 5 °C por 20 d afecta significativamente la maduración de los frutos, causando daños por frío que se caracterizan por un aumento en la producción de CO<sub>2</sub> y etileno, menores acumulaciones de etanol, acetaldehído y azúcares totales, y por incapacidad de maduración. Los síntomas visibles de daño por frío fueron: áreas oscurecidas en la pulpa, incapacidad para desarrollar el color característico en la pulpa, zonas acuosas en la pulpa, y zonas endurecidas cerca de la semilla. El almacenamiento a 10 °C afecta en menor proporción la maduración de los frutos de zapote mamey, pero no el almacenamiento a 15 °C que no provoca daños por frío.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo del proyecto SEP-PROMEP (103.5/04/1359).

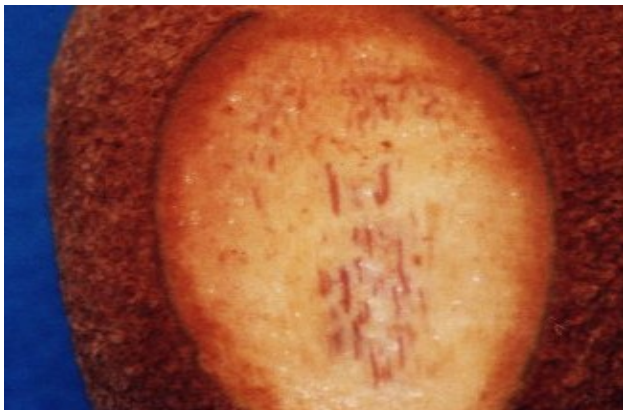


Figura 6. Síntomas de daño por frío en zapote mamey, como son: incapacidad de madurar, de desarrollar color, áreas oscuras y acuosas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alia T I, M T Colinas L, M T Martínez D, R M Soto H (2002) Factores fisiológicos, bioquímicos y de calidad en frutos de zapote-mamey (*Pouteria sapota* Jacq. H.E. Moore & Stearn) en poscosecha. Rev. Chapingo S. Hort. 8:263-281.
- Aluja M S (1993) Manejo Integrado de la Mosca de la Fruta. Trillas. D.F. México. 251 p.
- Arenas O M L, L S Evangelista, R E Arana, A A Jiménez, O G Dávila (2003) Softening and biochemical changes of sapote mamey fruit (*Pouteria sapota*) at different development and ripening stages. J. Food Biochem. 27: 91-107.
- Arévalo G M L, C Saucedo V, M T Colinas L, G Mena N (1999) Aplicación de ceras y cepa en frutos de chicozapote (*Manilkara zapota* L.). Rev. Chapingo S. Hort. 5: 83-88
- Arzudía C, E Martínez, H Ayala (1995) Algunas sapotáceas de Petén, Guatemala. Proc. Inteamer. Soc. Trop. Hort. 39:119-126.
- Balardi C F, J H Crane, C W Campbell (1996) The mamey sapote. Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural sciences. University of Florida. FC-30. 8 p.
- Borys M W, H Leszczyńska-Borys (2001) El Potencial Frutícola de la República Mexicana. Fundación Salvador Sánchez Colín, CIC-TAMEX. Toluca, México. 99 p.
- Chan H T, S Sanxter, H M Couey (1985) Electrolyte leakage and ethylene production induced by chilling injury of papayas. HortScience 20:1070-1072.
- Davies P L, W G Chace (1969) Determination of alcohol in citrus juice by gas chromatographic analysis of headspace. HortScience 4:117-119.
- Díaz P J C, S Bautista, R Villanueva (2000) Quality changes in sapote mamey fruit during ripening and storage. Postharvest Biol. Technol. 18:67-73.
- Díaz P J C, A Mejía, S Bautista, R Zavaleta, R Villanueva, R López G (2001) Response of zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn] fruit to hot water treatments. Postharvest Biol. Technol. 22:159-167.
- Díaz P J C, S Bautista, R Villanueva, R López G (2003) Modeling the ripening of sapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore and Stearn] fruit at various temperatures. Postharvest Biol. Technol. 28: 199-202.
- Gazel F A B, J Morera, P Ferreira, J León, J Pérez (1999) Diversidad genética de la colección de zapote [*Pouteria sapota* (Jacquin) H.E. Moore & Stearn] del CATIE. Plant Gen. Res. Newsl. 117:37-42
- Gutiérrez M, J M Lahoz, M M Sola, L Pascual, A M Vargas (1994) Postharvest changes in total soluble solids and tissue pH of chirimoya fruit stored at chilling and non-chilling temperatures. J. Hort. Sci. 69:459-463.
- Herrero A, J Guardia (1992) Conservación de Frutos. Manual Técnico. Mundi-Prensa. Madrid, España. 409 p.
- Kader, A A (2002 a) Postharvest biology and technology: an overview. In: Postharvest Technology of Horticultural Crops, A A Kader (ed). University of California. Agriculture and Natural Resources. Publication 3311. pp:39-47.
- Kader, A A (2002 b) Methods of gas mixing, sampling and analysis. In: Postharvest Technology of Horticultural Crops. A A Kader (ed). University of California. Agriculture and Natural Resources. Publication 3311. pp:145-148.
- Lyons J M, R W Breindebach (1990) Relation of chilling injury stress to respiration. In: Chilling Injury of Horticultural Crops. C Y Wang (ed). CRC Press, USA. pp:223-233.
- Morton J (1987) Fruits of Warm Climates. Miami, Florida, USA.
- Pennington T D, J Sarukhán (1998) Árboles Tropicales de México: Manual para la Identificación de las Principales Especies. Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 518 p.

- Podd, L A, J Van Staden (1998)** The role of ethanol and acetaldehyde in flower senescence and fruit ripening. *Plant Growth Reg.* 2:183-189.
- Rolz C (1973)** Daños por frío en la calidad de las frutas durante su almacenamiento. *Proc. Trop. Region. Amer. Soc. Hortic. Sci.* 17: 81-97.
- Saucedo V C, A R Martínez M, S H Chávez F, R M Soto H (2001)** Maduración de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* Jacq.) H. E. Moore & Stearn tratados con etileno. *Rev. Fitotec. Mex.* 24:321-234.
- Salisbury B F, W C Ross (1994)** Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 754 p.
- Tucker G A (1993)** Introduction. *In: Biochemistry of Fruit Ripening*, G B Seymour, J E Taylor, G A Tucker (eds). Chapman & Hall. London, UK. pp:1-55.
- Tucker G A, D Grierson (1987)** Fruit Ripening. *In: The Biochemistry of Plants. A Comprehensive Traetise.* D D Davies (ed). Vol 12. Academic Press. USA. pp:265-318
- Valle G S, C Saucedo Veloz, C B Peña V, J J E Corrales G, S H Chávez F, T Espinosa S (2002)** Skin permeance and internal gas composition in 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill) fruits. *Food Sci.Technol. Int.* 8:365-373.
- Villanueva A R, S Evangelista L, M L Arenas O, J C Díaz P, S Bautista B (2000)** Cambios bioquímicos y físicos durante el desarrollo y postcosecha del mamey (*Pouteria sapota* Jacq. H.E. Moore & Stearn). *Rev. Chapingo S. Hortic.* 6:63-72.
- Wang C Y (1994)** Chilling injury of tropical horticultural commodities. *HortScience* 29:986-988.
- Wang C Y, D O Adams (1982)** Chilling-induced ethylene production in cucumbers (*Cucumis sativus* L.). *Plant Physiol.* 69:424-427.
- Whitam F F, D F Blaydes, R M Devlin (1971)** Experiments in Plant Physiology. Van Nostrand Reinhold C. New York, USA. 245 p.
- Wills R, B McGlasson, D Graham, D Joyce (1998)** Introducción a la Fisiología y Manipulación Poscosecha de Frutas, Hortalizas y Plantas Ornamentales. G J Burgos. Zaragoza, España. 240 p.
- Zuckerman H, F J M Harren, J Reuss, D H Parker (1997)** Dynamics of acetaldehyde production during anoxia and post-anoxia in red bell pepper studied by photoacoustic techniques. *Plant Physiol.* 113:925-932.