

FACTORES FISIOLÓGICOS, BIOQUÍMICOS Y DE CALIDAD EN FRUTOS DE ZAPOTE MAMEY (*Pouteria sapota* Jacq. H.E. Moore & Stearn) DURANTE POSCOSECHA

I. Alia-Tejacal^{1¶}; M. T. Colinas-León³; M. T. Martínez-Damián³; M. R. Soto-Hernández²

¹Programa de Fisiología Vegetal, IREGEP Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, México. C.P. 56230.

Correo-e: ialia@colpos.colpos.mx. (¶Autor responsable).

²Especialidad de Botánica, IRENAT. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, México. C.P. 56230.

³Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México, México. C.P. 56230.

RESUMEN

Frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* Jacq. H. E. Moore & Stearn) avanzados en maduración (tres días de cosechados) se almacenaron a 20 °C por 6 días a 5, 10 y 15 °C por 14 días para determinar su efecto sobre la maduración. Los frutos de zapote mamey presentaron comportamiento típico de los frutos climatéricos: aumento en la producción de CO₂, etileno y pérdida de peso, reducción de acidez, fenoles totales, firmeza, aumento de azúcares y carotenoides totales, cambio en color de pulpa, mayor síntesis de proteína soluble y un incremento en la actividad de catalasa, peroxidasa y polifenoloxidasa. En los frutos almacenados a 5 y 10 °C se presentó una menor producción de etileno y menor tasa de respiración, síntesis de proteína y actividades enzimáticas. El almacenamiento a bajas temperaturas originó una menor proporción de carotenoides totales, y retrasó en algunos aspectos relacionados con la maduración como son azúcares totales, fenoles totales, firmeza, color de pulpa y acidez, una vez transferidos a temperaturas ambientales, sin afectar el comportamiento normal de maduración. El estado de maduración de los frutos influyó en la sensibilidad al daño por frío. El almacenamiento a 15 °C no detuvo la maduración en zapote mamey.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: respiración, etileno, maduración, almacenamiento, enzimas, carotenoides

PHYSIOLOGICAL, BIOCHEMICAL AND QUALITY FACTORS IN SAPOTE MAMEY (*Pouteria sapota* Jacq. H.E. Moore & Stearn) FRUITS DURING POSTHARVEST

SUMMARY

Mature sapote mamey (*Pouteria sapota* Jacq. H.E. Moore & Stearn) fruit were stored at 20 °C for 6 days and 5, 10 and 15 °C for 14 days to determine the effect of storage on ripening. Sapote mamey fruits exhibited typical climacteric behavior, with increases in production of CO₂ and ethylene, weight loss, reduction in acidity, total phenols, firmness, and increases in total sugars and carotenoids. Pulp color changed, and synthesis of soluble protein was high, and there were large increases in catalase, peroxidase and polyphenoloxidase activities. Fruit stored at 5 and 10 °C showed lower ethylene production and respiration, protein synthesis, and enzymatic activities. A lower total carotenoid content was observed at low temperatures and some aspects related to ripening like total sugars, total phenols, firmness, flesh color and acidity were delayed, once transferred to room temperatures, without affecting normal ripening. The stage of fruit ripening affected sensitivity to chilling injury. Storage at 15 °C did not stop the ripening in sapote mamey.

ADDITIONAL KEY WORDS: respiration, ethylene, ripening, storage, enzymes, carotenoids

INTRODUCCIÓN

Las sapotáceas son un componente de las selvas bajas húmedas en América, casi todas las especies de este género tienen fruto comestible, entre las más importantes están el zapote mamey (*Pouteria sapota* Jacq. H.E. Moore & Stearn), chicozapote (*Manilkara zapota* L.) Royen y caimito (*Chrysophyllum cainito* L.) (Pennigton, 1991;

Arzudia *et al.*, 1995). El zapote mamey es nativo de México y América central, se distribuye en México, Belice, Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua (Campbell *et al.*, 1997).

Este frutal tiene alto potencial para su explotación frutícola (Toral, 1988). Su principal uso es para consumo en fresco (Pennigton y Sarukhán, 1998) y últimamente se

ha incrementado el interés en este fruto en países como Australia, Israel, Filipinas, Vietnam, España (Balerdi *et al.*, 1996). Sin embargo, su exportación es restringida debido a que es hospedero de moscas de la fruta, *Anastrepha serpentina* Wied. (Aluja, 1993). En años recientes se han realizado investigaciones sobre el uso de tratamientos hidrotérmicos para determinar si es factible utilizar estos protocolos para la exportación (Granados-Friely y Villagrán, 1996; Granados-Friely y García-Utrera, 1996; Díaz-Pérez *et al.*, 2001). Otro problema de alta importancia es el poco conocimiento sobre el comportamiento postcosecha de este fruto al utilizar tecnologías de almacenamiento a bajas temperaturas, atmósferas controladas y modificadas, etc., las cuales son de importancia para poder comercializar este fruto a regiones distantes.

Una tecnología básica e importante es el uso de bajas temperaturas con el propósito de frenar el deterioro, sin inducir alteraciones en la maduración u otros cambios perjudiciales, manteniendo el producto en condiciones aceptables durante un periodo tan largo como sea posible (Wills *et al.*, 1998). El zapote mamey debido a su origen tropical puede presentar problemas de "daño por frío" (Campbell, 1994), este fenómeno involucra disfunciones metabólicas que afectan la calidad de los frutos después de someterse a temperaturas entre 0 a 15 °C (Lyons, 1973). Dentro de los factores que influyen en las respuestas al daño por frío están: la composición de ácidos grasos de los lípidos de la membrana celular; niveles de azúcares, prolina; etapa de maduración y temperaturas de campo (Wang, 1982). Por lo antes expuesto el objetivo del presente trabajo fue determinar el comportamiento de maduración de frutos de zapote mamey después de su almacenamiento a bajas temperaturas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante la temporada de producción del año 2000 se compraron frutos de zapote mamey en la Central de Abastos de la Ciudad de México. Estos fueron seleccionados por su firmeza al tacto, tamaño uniforme y sin daños mecánicos visibles, estos frutos tenían tres días de cosechados y provenían del estado de Chiapas.

Los frutos se trasladaron al laboratorio de Fisiología de Frutales de la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México. Donde se acondicionaron por cinco horas a temperatura ambiente y se formaron cuatro grupos para los siguientes tratamientos; Testigo: almacenamiento a 20 °C; humedad relativa de 50 a 60 % por seis días; Almacenamiento a 5, 10 y 15 °C; humedad relativa de 85 % por 14 días y posterior almacenamiento a 20 °C por seis días a 20 °C y 50 a 60 % humedad relativa.

Se evaluó la velocidad de respiración y producción de etileno mediante el método estático para lo cual se colocó un fruto en un frasco de vidrio de volumen conocido por

una hora, posteriormente se tomó con una jeringa hipodérmica 5 ml del espacio vacío el cual se trasladó a un Vacutainer (al vacío) y se almacenaron a -20 °C hasta su evaluación, la cual se realizó tomando 1 ml del espacio del Vacutainer y se inyectó en un cromatógrafo de gases Hewlett Packard 5890 Serie II con columna empacada de sílica fundida y fase estacionaria paraplott Q, detector de ionización de flama y otro de conductividad térmica. La temperatura de horno fue 80 °C, 150 °C en el inyector y 150 °C detector. Se utilizó helio como gas de arrastre. En estos mismos frutos se evaluó el porcentaje de pérdida de peso acumulado diariamente mediante la diferencia del peso inicial y final durante el tiempo del experimento. En otros frutos, se evaluó el color de la pulpa, eliminando una porción de la cáscara en dos lados opuestos de la parte ecuatorial del fruto mediante un colorímetro Hunter Lab, registrándose los valores en luminosidad (L), ángulo Hue = q y cromaticidad del color (C) (Minolta, 1994); la firmeza se midió inmediatamente después, en el mismo lugar donde se midió el color con un penetrómetro tipo Chatillon de punta cónica (altura y base del cono de 0.6 mm y 0.7 mm, respectivamente), registrándose la fuerza requerida para penetrar 0.6 mm.

Los azúcares totales se evaluaron mediante la metodología de antrona descrita por Whitam *et al.* (1971); 5 g de pulpa fueron homogeneizados con 80 ml de etanol al 80 %; 1 ml del extracto se evaporó en baño maría y se diluyó en 100 ml de agua destilada, se tomó 1 ml para realizar la reacción con la solución de ácido sulfúrico + antrona (proporción 100 ml:0.4 g), y se registró la absorbancia a 600 nm, la cuantificación se realizó mediante una curva patrón de glucosa, de la misma solución extractora de azúcares se utilizó para la determinación de fenoles totales por el método de Folin y Ciocalteu descrito por Waterman y Mole (1994), tomándose 0.2 ml de la solución alcohólica + 12 ml de agua desionizada + 1 ml de solución Folin-Ciocalteu se agitó y finalmente se agregaron 3 ml de una solución de carbonato de sodio 20 % (tiempo cero) se aforó a 20 ml y se dejó reposar 2 h antes de la segunda lectura a 760 nm. La cuantificación se realizó mediante una curva patrón con ácido tánico. La acidez se evaluó a partir de 10 g de pulpa homogenizada con 50 ml de agua, se filtró para eliminar el tejido; 5 ml del filtrado se titularon hidróxido de sodio 0.1 N. Expresándola como porcentaje de ácido málico que es el ácido de mayor presencia en sapotáceas (Carajal, 1954, citado por Figueroa, 1988).

La actividad de polifenoloxidasas (PPO), peroxidasa (POD) y catalasa (CAT) se realizaron a partir de polvo de acetona el cual fue preparado con 30 g de pulpa + 80 ml de acetona (-15 °C) se molió en licuadora y filtro al vacío, se repitió una vez más y se dejó secar a temperatura de laboratorio (18 °C) y se almacenó a -20 °C hasta el ensayo. La actividad de PPO se determinó mediante la metodología descrita por Laminkara (1995) con algunas modificaciones; la enzima se extrajo a partir de 0.2 g de polvo de acetona

con 5 ml de Tris-HCl frío (pH 7.1), se mezclaron en un homogenizador de tejidos durante 30 s, posteriormente la mezcla se centrifugó por 20 min a $10,000 \times g$ a $4 \text{ }^\circ\text{C}$, el sobrenadante se utilizó para el ensayo, donde se evaluó el cambio de absorbancia a 420 nm; la mezcla de reacción consistió de 2 ml de catecol (60 mM) + 50 ml del sobrenadante, se determinó el cambio de absorbancia en 1 min. La actividad enzimática se reporta como $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso fresco donde U = Unidad de actividad enzimática y una unidad es igual a la formación de 1 $\text{mmol}\cdot\text{min}^{-1}$ de o-benzoquinona. La extracción de POD fue similar a PPO, el ensayo se realizó de acuerdo a Flurkey y Jen (1978), con las siguientes modificaciones; la mezcla de ensayo tuvo un volumen total de 3 ml, 2.6 ml de amortiguador Tris-HCl (pH 7.1), 0.25 ml de guayacol 0.1 M, 0.1 ml de peróxido de hidrógeno 0.25 % y 0.05 ml del sobrenadante. Se evaluó el cambio de absorbancia en 3 min a 470 nm. La actividad enzimática se reporta como $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso fresco donde U = Unidad de actividad enzimática y una unidad es igual a la formación de 1 $\text{mmol}\cdot\text{min}^{-1}$ de tetraguaicol. CAT se extrajo de polvo de acetona (0.5 g) con 5 ml de Tris-HCl frío (pH= 8.5) conteniendo 1 % polivinilpirrolidona en un homogenizador de tejidos. La mezcla se centrifugó a $12,000 \times g$ por 20 min en una centrifuga refrigerada a $4 \text{ }^\circ\text{C}$. La actividad de CAT se evaluó mediante la metodología descrita por Lück, citado por Blackwell *et al.* (1990) 3 ml de 10 mM Tris-HCl (pH 8.5) y 0.1 ml de peróxido de hidrógeno 0.88 % en 100 mM de Tris-HCl fueron colocados en la celda del espectrofotómetro. La reacción se inició adicionando 0.1 ml de extracto crudo y se observó el cambio en absorbancia a 240 nm y la actividad enzimática se reportó como $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso fresco donde U = Unidad de actividad enzimática y una unidad es igual a la descomposición 1 $\text{mmol}\cdot\text{min}^{-1}$ de H_2O_2 . Los ensayos de las enzimas se realizaron a temperatura de ambiente (22 a $24 \text{ }^\circ\text{C}$). La proteína soluble se determinó por el método de Bradford (1976), 0.5 g de polvo de acetona se mezclaron con 5 ml de buffer Tris-HCl 0.1 M pH= 7.1 frío. La mezcla se centrifugó a $12,000 \times g$ por 20 min, 100 ml del sobrenadante se adicionaron a 5 ml de la solución Comassiee blue, se agitó y registró el incremento de absorbancia a 595 nm. La cuantificación se realizó mediante una de calibración con albúmina de bovino.

Los carotenoides totales fueron cuantificados en la acetona utilizada para preparar el polvo de acetona, utilizándose la metodología descrita por Campos (1985). La acetona se filtró para eliminar residuos, el filtrado se colocó en un embudo de separación de 500 ml se agregaron 20 ml de hexano y 100 ml de agua destilada se agitaron y se dejó reposar para separar dos fases la superior contenía los carotenos en hexano y, la inferior acetona y agua, el proceso se repitió con la parte inferior hasta quedar incolora. Los extractos de carotenoides se lavaron tres veces con 100 ml de agua para eliminar la acetona, las grasas se saponificaron con 5 ml de hidróxido de sodio (10.0 N), y se lavó con agua para eliminar la base. Finalmente se filtró sobre manta de cielo con una capa de sulfato de sodio

para eliminar el agua. Al extracto final se le registró su absorbancia a 452 nm en un espectrofotómetro Spectronic 21D (Milton Roy) a 452 nm y se expresó como $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso fresco. La cuantificación se realizó mediante una curva de calibración de β -caroteno y se expresó como $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso fresco.

La unidad experimental fue un fruto haciéndose cinco repeticiones en cada muestreo. Las variables producción de etileno, producción de CO_2 y pérdidas de peso se evaluaron diariamente, las demás variables se evaluaron cada dos días, las evaluaciones se realizaron cuando los frutos se mantenían a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ por seis días. Se realizó un análisis de varianza entre los tratamientos almacenados a bajas temperaturas por día de muestreo y una comparación de medias Tukey con una $P \leq 0.05$. También se llevó a cabo un estudio de correlación entre variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respiración y producción de etileno

Los frutos almacenados a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ presentaron un aumento en la producción de etileno y CO_2 que alcanzó su máximo a los 2 y 3 días después de iniciado el experimento, respectivamente (Figura 1). Los máximos de producción fueron $112.9 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ y $116.5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ de etileno y CO_2 , respectivamente. Díaz-Pérez *et al.* (2000) y Villanueva-Arce (2000) presentaron valores similares en producción de CO_2 , mientras que Alia-Tejacal *et al.* (2000) obtuvieron 40 % más en la producción de etileno, en frutos sometidos 24 h con etileno ($2000 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$). El etileno puede estimular e inducir síntesis de enzimas de la respiración (Solomos, 1988), asociándose el aumento de la respiración como una respuesta general al etileno producido (Tucker, 1993). Para el zapote mamey el aumento en respiración es antecedido por un aumento en la producción de etileno lo cual fue informado previamente por Alia-Tejacal *et al.* (2000).

Los frutos expuestos a 5 y $10 \text{ }^\circ\text{C}$ presentaron sus máximos de CO_2 a los 2 y 3 días, después de transferidos a $20 \text{ }^\circ\text{C}$, respectivamente, con valores de 55.7 y $92.8 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, respectivamente, lo que representa 44.3 y 20 % menos comparado con el máximo de los frutos testigos, esto se explica por la baja producción de etileno que presentaron los frutos almacenados a esas condiciones (37.42 y $65.55 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) equivalentes a 70 y 40 % respecto de los frutos testigo. Se ha documentado que el almacenamiento a bajas temperaturas entre 0 y $14 \text{ }^\circ\text{C}$ puede causar daños por frío en frutos tropicales (Burdon, 1977), un aumento o una reducción en la producción de etileno en diversos frutos procede a síntomas visuales de daños por frío (Eaks, 1983; Cheng y Shewfelt, 1998).

En este trabajo el almacenamiento a bajas temperaturas probablemente afectó la síntesis de etileno resultando en una menor producción cuando se expusieron

nuevamente a temperaturas ambientales (Figura 1 b) y en consecuencia menor producción de CO_2 (Figura 1 a). Se sugiere que la conversión de ACC a etileno es inhibida por prolongadas exposiciones a bajas temperaturas (Gross y Ji, 2000). En el presente estudio el almacenamiento a bajas temperaturas no causó daños severos dado que existió una maduración normal probablemente por que los frutos se encontraba a un día del máximo climatérico cuando se inicio el estudio (Figura 1 b) y como se ha visto en mango y tomates la sensibilidad al daño por frío es menor cuando los frutos se acercan al climaterio y posterior a éste (Couey, 1982; Wang, 1982).

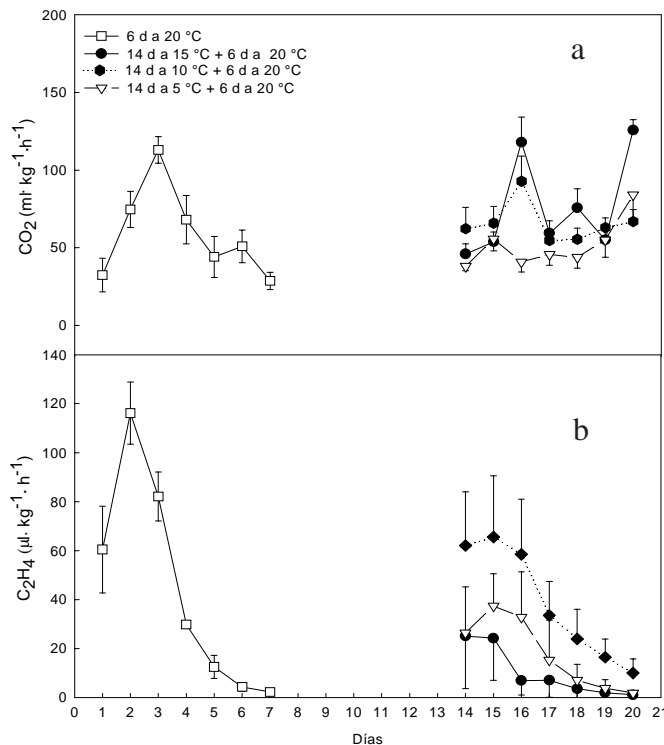


Figura 1. Respiración (a) y producción de etileno (b) en frutos de zapote mamey expuestos diferentes temperaturas de almacenamiento. Cada punto representa la media de cinco observaciones \pm error estándar.

Los frutos almacenados a 15 °C por 14 días presentaron una reducción constante en la producción de etileno y dos máximos en la producción de CO_2 estos picos probablemente son debidos al proceso de fermentación ya que los frutos al momento de salir del almacenamiento se presentaban una firmeza cercana a 0.0 N (Figura 2), lo que indica sobremaduración (Díaz-Pérez *et al.*, 2000).

Firmeza

La firmeza promedio de los frutos fue de 32.8 N, disminuyendo los valores hasta 11.0 N en los frutos testigo en la madurez de consumo (4 días después del inicio del experimento; Figura 2). Díaz-Pérez *et al.* (2000) indican que los frutos de zapote mamey presentan valores menores a 50.0 N en madurez de consumo. Arce-Villanueva *et al.* (2000), presentaron valores de 65 a 55 N al momento de

cosecha y después de 7 días a 23 ± 2 °C (50 % humedad relativa) los valores fueron de 3 a 5 N. En ambos trabajos se evaluó la resistencia a la compresión a una distancia de penetración entre 3.0 y 3.5 mm, lo cual es diferente en el presente y por tanto las diferencias en valores.

Los frutos almacenados por 14 días a 15 °C presentaron valores cercanos a 0, indicando que las condiciones de almacenamiento y temperatura no detienen la maduración. Los frutos almacenados a 5 y 10 °C por 20 días presentaron una firmeza de 27.5 y 15.2 N, respectivamente, al exponerse a temperatura ambiente, la firmeza fue disminuyendo hasta valores de 10 y 7.28 N (4 y 2 días después del almacenamiento) a la madurez de consumo. Se han realizado trabajos donde el zapote mamey presenta una maduración heterogénea cuando se almacena a 10 y 15 °C entre 7 y 15 días (Arriola *et al.*, 1976; Díaz-Pérez *et al.*, 2001). Sin embargo, en el presente trabajo, todos los frutos presentaron una maduración normal diferenciándose solamente en el tiempo en alcanzar la madurez de consumo, esto probablemente como se ha propuesto anteriormente se debe la etapa de maduración con que se inicio el experimento.

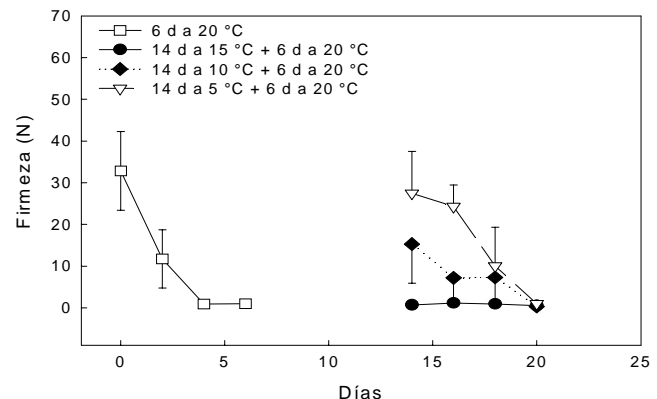


Figura 2. Comportamiento de la firmeza (N: newtons) en frutos de zapote mamey expuestos a diferentes temperaturas de almacenamiento. Cada punto representa la media de cinco observaciones \pm error estándar.

Pérdida de peso

El análisis de varianza detectó diferencias entre los tratamientos a bajas temperaturas donde la pérdida de peso en los frutos testigo fue de 7.4 % a la madurez de consumo y de 8.5, 7.6, y 6.1 % a la madurez de consumo después de ser almacenados a 15, 5 y 10 °C por 14 días (Figura 3). Las pérdidas de peso se deben principalmente a transpiración y pérdidas de peso entre 5 y 10 % pueden representar un producto comercialmente inaceptable (Tucker, 1993). Las pérdidas diarias fueron mayores en los frutos almacenados a 15 °C al colocarse a temperatura ambiente con 2.3 %, los frutos almacenados a 5 y 10 °C presentaron 1.4 % y los frutos testigo presentaron 1.7 %. Díaz-Pérez *et al.* (2000) indicaron que la rapidez de maduración esta asociada con las altas velocidades de pérdida de peso, lo cual es similar en el presente estudio.

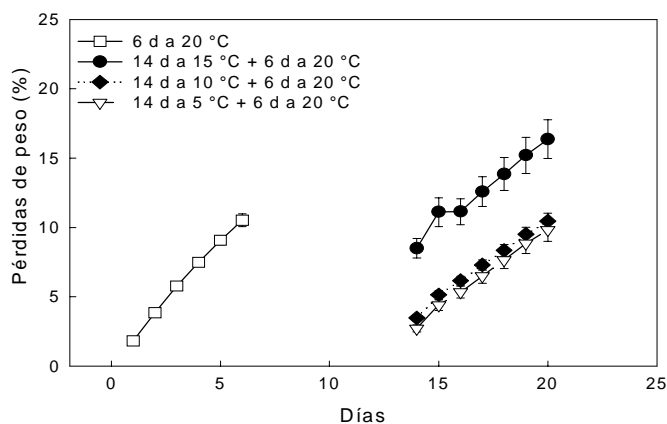


Figura 3. Pérdidas de peso en frutos de zapote mamey expuestos a diferentes temperaturas de almacenamiento. Cada punto representa la media de cinco observaciones \pm error estándar

Color

En todos los tratamientos existió una tendencia a disminuir los valores de L, debido a un oscurecimiento gradual de la pulpa que se presenta de manera normal durante el proceso de maduración. A la salida de almacenamiento y dos días después existieron diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0.05$), el tratamiento a 5 °C presentó los valores mayores, seguido de los frutos almacenados a 10 °C y finalmente el tratamiento a 15 °C, posteriormente los tratamientos fueron similares estadísticamente (Figura 4).

El color de la pulpa indicado por el ángulo Hue valores cercanos a 90 indican un color amarillo y valores cercanos a 0 indican un color rojo (Minolta, 1994; Díaz-Pérez *et al.*, 2001). En todos los tratamientos estos valores se acercaron a una coloración naranja y rojiza que es una característica de la maduración de este fruto (Díaz-Pérez *et al.*, 2000). No existieron diferencias estadísticas en los tratamientos a bajas temperaturas probablemente por la gran variación de los frutos. La cromaticidad del fruto nos indicó que el color fue opaco conforme aumentaba la maduración esto por el oscurecimiento de la pulpa, en todos los tratamientos la tendencia fue a disminuir este valor de valores cercanos a 35 hasta 25 en senescencia (Figura 4).

Azúcares totales

Casas (1977) indicó que en zapote mamey durante la maduración de zapote mamey hubo un aumento de azúcares totales debido a la hidrólisis de almidón. También en el presente trabajo se observó este comportamiento al aumentar el contenido de azúcares de 14 a 18.9 g·100 g⁻¹ de peso fresco, estos también coinciden con los presentados por Arriolla *et al.* (1976). En los frutos almacenados a 10 y 5 °C el comportamiento fue similar a los frutos testigo no se observó un efecto significativo de la

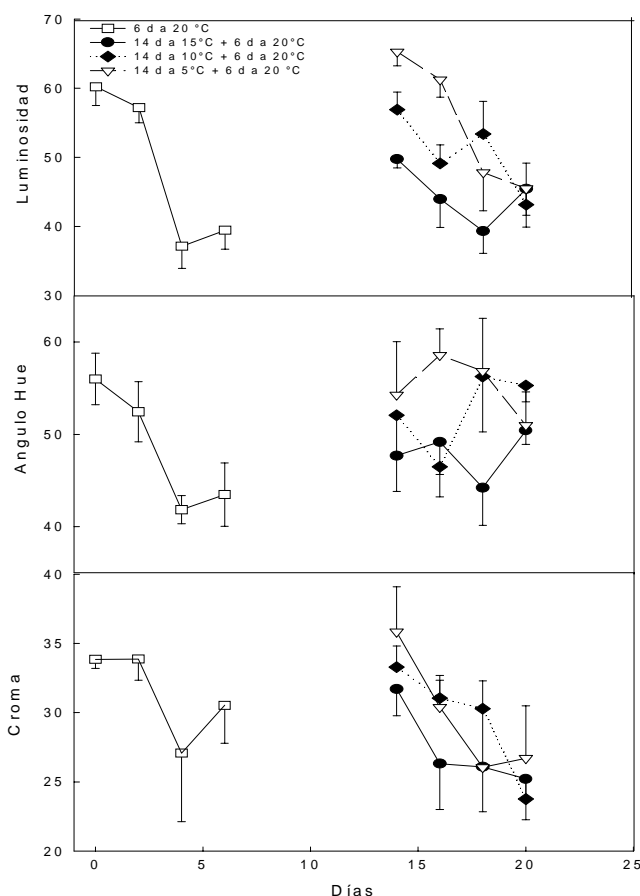


Figura 4. Comportamiento de los componentes de color en frutos de zapote mamey expuestos a diferentes temperaturas de almacenamiento. Cada punto representa la media de cinco observaciones \pm error estándar.

temperatura de almacenamiento. En los frutos almacenados a 15 °C aunque se observó el valor más alto a la salida del almacenamiento y posteriormente una disminución para finalmente volver a aumentar este comportamiento fue probablemente debido a la variación inherente de los frutos (Figura 5). Con análisis de varianza no se encontraron diferencias entre los tratamientos expuestos a bajas temperaturas.

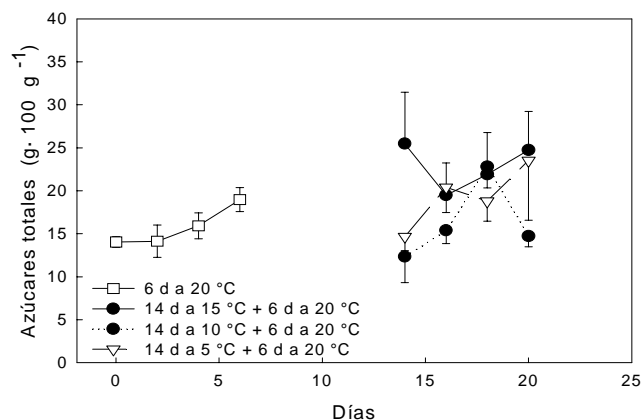


Figura 5. Azúcares totales en frutos de zapote mamey almacenados a diferentes temperaturas. Cada punto representa la media de cinco observaciones \pm error estándar.

Fenoles totales

Una disminución en el contenido de fenoles totales de $0.29 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ al inicio del experimento a valores de $0.09 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de peso fresco se presentó en los frutos testigo, un comportamiento similar fue mostrado en los frutos almacenados a bajas temperaturas, aunque se puede destacar a los frutos almacenados a 5°C por $14 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ con el valor mayor ($0.50 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de peso fresco) a la salida del almacenamiento, pero posteriormente disminuyó durante la maduración (Figura 6). No existieron diferencias significativas entre los tratamientos a bajas temperaturas, pero si correlación positiva y significativas con luminosidad ($r = 0.59$) y firmeza ($r = 0.58$), es decir que a mayores valores de luminosidad y firmeza existe una concentración mayor y viceversa. Casas (1977) indicó que los fenoles totales son considerables en zapote mamey y es probable que a esto se deba el oscurecimiento de la pulpa cuando se pone en contacto con el aire y cuando el fruto está sobremaduro, lo cual pone de manifiesto la importancia de estos compuestos en los frutos de zapote mamey.

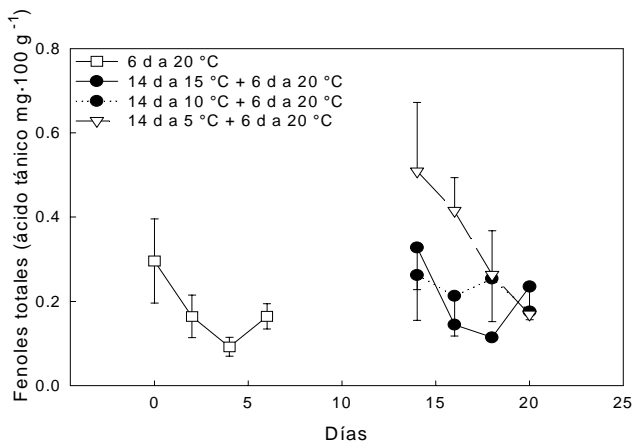


Figura 6. Fenoles totales en frutos de zapote mamey expuestos diferentes temperaturas de almacenamiento. Cada punto representa la media de cinco observaciones \pm error estándar.

Acidez

En este estudio la acidez disminuyó durante la maduración y senescencia de los frutos en todos los tratamientos (Figura 7). Se ha reportado que la reducción en el contenido de ácidos orgánicos disminuyen debido a que son utilizados en respiración o convertidos en azúcares (Tucker, 1993; Wills *et al.*, 1998). El análisis de varianza determinó diferencias ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos a bajas temperaturas a la salida del almacenamiento y dos días después, posteriormente presentaron igualdad estadística. Los frutos expuestos a 5°C presentaron los valores de acidez mayores con 0.39% al salir del almacenamiento hasta valores de 0.2% en la madurez de consumo. Los tratamientos restantes presentaron una tendencia a disminuir durante la maduración y sus valores fueron menores comparados con el tratamiento a 5°C . Los valores obtenidos en el presente trabajo son similares a los reportados por Arce-Villanueva *et al.* (2000).

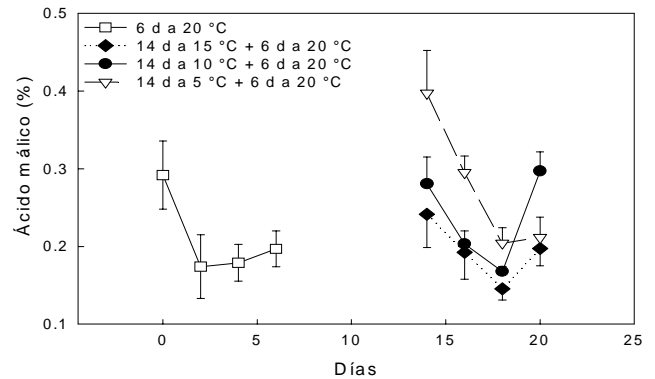


Figura 7. Comportamiento de acidez en frutos de zapote mamey expuestos a temperaturas de almacenamiento. Cada punto representa la media de cinco observaciones \pm error estándar.

Carotenoides totales

En este estudio se observó un aumento en todos los tratamientos de la concentración de carotenoides totales, con valores iniciales de 28.9 hasta $69.6 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso fresco en frutos testigo; esto confirma lo reportado por Casas (1977) quien concluyó que la coloración de la pulpa de zapote mamey se debe a los carotenoides los cuales aumentan durante la maduración.

En los frutos almacenados a 5 y 10°C se observó una menor acumulación de estos pigmentos, lo que sugiere que la síntesis de carotenoides es afectada por la exposición a bajas temperaturas (Cuadro 1). Este comportamiento se ha observado en mango donde el almacenamiento a bajas temperaturas y posterior almacenamiento a temperaturas ambientales la síntesis de carotenoides es menor que los frutos mantenidos constantemente a temperatura ambiente (Thomas y Janave, 1975; Thomas y Oke, 1983). Los frutos almacenados a 15°C presentaron una disminución constante de carotenoides totales una vez transferidos a 20°C debido al proceso de senescencia.

CUADRO 1. Carotenoides totales ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) con base a peso fresco de frutos de zapote mamey expuestos a bajas temperaturas de almacenamiento.

Tratamiento	Días			
	Inicio	2	4	6
6 d a 20°C	28.9	67.2	69.4	69.6
14 d a 5°C	Días			
	14	16	18	20
	20.1 b ²	34.5 a	53.3 a	nd
	29.3 ab	31.5 a	36.9 b	nd
14 d a 10°C	29.3 ab	31.5 a	36.9 b	nd
14 d a 15°C	52.0 a	28.2 a	20.0 c	nd
C.V.	30.0 %	62.7 %	14.9 %	

²Letras iguales en el sentido de las columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.
nd: no determinado, C.V.: coeficiente de variación

Proteína soluble y actividad enzimática

El contenido de proteína soluble se incrementó durante la maduración de los frutos testigo (Figura 8) esto es similar en banana, donde se sugiere que los cambios que ocurren durante la maduración requiere la síntesis de nuevas proteínas (Areas *et al.*, 1988). En los frutos almacenados a 5 y 10 °C fue similar el comportamiento pero el aumento fue menor comparado con los frutos testigo, en los dos tratamientos la mayor cantidad de proteína soluble se presentó dos días después de expuestos a temperatura ambiente (Figura 8) esto debido a que nuevas proteínas pueden ser sintetizadas por la producción de etileno (Wang, 1982).

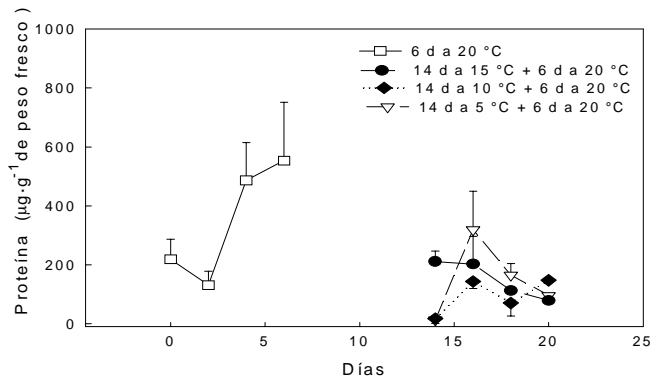


Figura 8. Proteína soluble en frutos de zapote mamey expuestos a diferentes temperaturas de almacenamiento. Cada punto representa la media de tres observaciones \pm error estándar.

Los resultados obtenidos demuestran que la tasa de producción de etileno afectan la concentración de proteína soluble, dado que menores tasas de producción de etileno generan menores proporciones de proteína soluble (frutos almacenados a 5 y 10 °C) y en los frutos testigo la mayor producción de etileno generó mayor producción de proteína soluble (Figura 1 y 8).

Los frutos almacenados a 15 °C presentan una constante reducción debido a senescencia, Peoples y Dalling (1988) indicaron que las proteínas (solubles e insolubles), ácidos nucleicos y otros compuestos nitrogenados son degradados durante la senescencia.

El análisis de varianza detectó diferencias entre tratamientos a bajas temperaturas en la actividad de peroxidasa y catalasa sólo a la salida del almacenamiento donde la mayor actividad la presentaron los frutos almacenados a 15 °C seguidos de los frutos almacenados a 10 y 5 °C. En los frutos testigo la actividad de peroxidasa y catalasa presentaron un aumento inmediato hasta alcanzar un máximo 4 días después de iniciado el experimento, este máximo coincide con el máximo de respiración (Figuras 1 y 9). Este comportamiento se ha reportado en diferentes frutos como manzanas, peras, duraznos, bananas, mango y chicozapote (Vámos-Vygiázó, 1981, Rao y Chundawat, 1989, Mitra y Baldwin, 1997). Rao

y Chundawat (1989) reportaron que en chicozapote el aumento en la actividad de peroxidasa y catalasa se debe a un incremento en la respiración debido a que estas dos enzimas utilizan como sustrato peróxido de hidrógeno, esto concuerda con nuestros resultados.

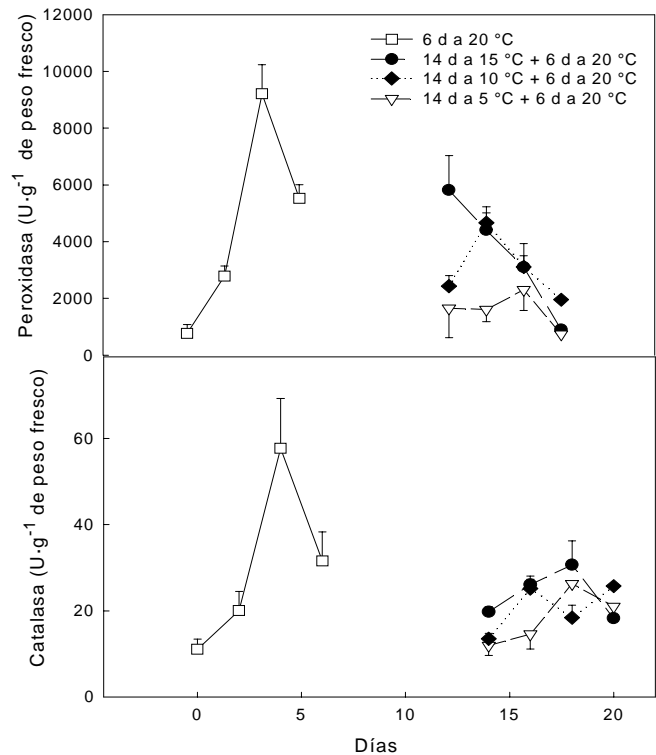


Figura 9. Peroxidasa (a) y catalasa (b) en frutos de zapote mamey expuestos a diferentes temperaturas de almacenamiento. Cada punto representa la media de tres observaciones \pm error estándar.

Los frutos almacenados a 10 °C presentaron un aumento dos días después de la salida del almacenamiento y posterior reducción en peroxidasa, en la actividad de catalasa se presentan dos picos al segundo y sexto día después del almacenamiento, estos también coinciden con los picos de respiración (Figura 1 y 9 b). Los frutos almacenados a 5 °C presentaron la menor actividad de catalasa y peroxidasa, con un ligero aumento cuatro días después del almacenamiento. Pérez-Tello *et al.* (1999) indicaron que frutos de zapote mamey almacenados a 2.5 °C por 20 días inhiben la actividad de peroxidasa. También la actividad de catalasa es inhibida a temperaturas cercanas a 4 °C (Blackwell *et al.* 1990), a esto se añade el efecto sobre la síntesis de proteína mencionado anteriormente.

Los frutos almacenados a 15 °C presentó una disminución constante de la actividad de peroxidasa, no así de catalasa que presenta un máximo 4 días después del almacenamiento.

La actividad de polifenoloxidas presenta la tendencia a aumentar durante la maduración alcanzando su máximo en la madurez de consumo y posteriormente una reducción

(Figura 10), el análisis de varianza no detectó diferencias entre los tratamientos ($P \leq 0.05$) almacenados a bajas temperaturas.

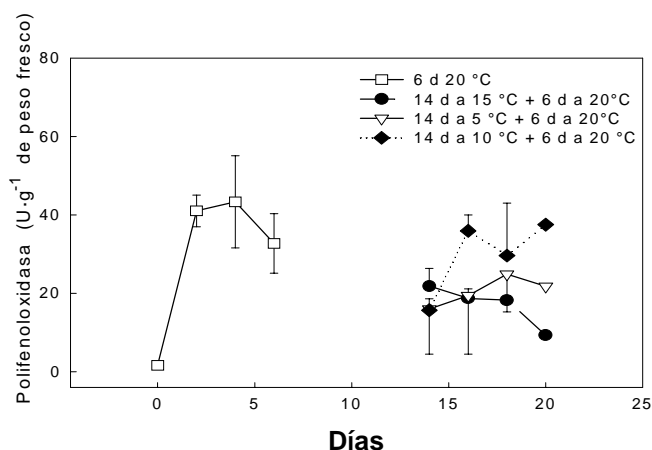


Figura 10. Comportamiento de polifenoloxidasa en frutos de zapote mamey expuestos a diferentes temperaturas de almacenamiento. Cada punto representa la media de tres observaciones \pm error estándar.

Sin embargo, existe una relación inversa con la luminosidad en todos los tratamientos a excepción de los frutos almacenados a 15 °C, donde la tendencia es a disminuir. Una relación similar se observó con los fenoles totales siendo más evidente en los frutos testigo, se relaciona a polifenoloxidasa con el oscurecimiento de frutos debido a que oxida *o*-dihidroxifenoles a *o*-quinonas en presencia de oxígeno, las quinonas se polimerizan formando compuestos coloreados color café o rojo (Tomás-Barberán y Espín, 2001), es probable que a esto se deba la relación antes descrita.

CONCLUSIONES

Los frutos de zapote mamey presentaron un comportamiento típico de los frutos climatéricos, la cercanía al climaterio influye en la sensibilidad al daño por frío. El almacenamiento a 5 y 10 °C disminuyó la producción de etileno, respiración, síntesis de carotenoides, proteínas, actividades enzimáticas y pérdidas de peso, una vez transferidos a temperaturas ambientales. También se retrasan algunos aspectos relacionados con la maduración como son azúcares totales, fenoles totales, firmeza, color de pulpa y acidez, sin afectar el comportamiento normal de maduración. El almacenamiento a 15 °C no detuvo la maduración.

AGRADECIMIENTOS.

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento de la presente investigación.

LITERATURA CITADA

- ALÍA-TEJACAL, I.; SAUCEDO-VELOZ, C.; MARTÍNEZ-DAMIÁN, M. T.; COLINAS-LEÓN, M. T. 2000. Temperaturas de almacenamiento y maduración en frutos de mamey (*Pouteria sapota* Jacq. H.E. Moore & Stearn). Revista Chapingo Serie Horticultura 6(1): 73-78.
- ALUJA, M. S. 1993. Manejo Integrado de la Fruta. Ed. Trillas. D.F., Mexico. 251 p.
- AREAS, J. A. G; GARCÍA, E.; LAJOLO, F. M. 1988. Effect of protein synthesis inhibitors on the climateric of banana (*Musa acuminata*). J. Food Biochem.12: 51-60.
- ARRIOLA, M. C.; MENCHÚ, J. F.; ROLZ, C. 1976. Caracterización y almacenamiento de algunas frutas tropicales. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial. Guatemala, Guatemala (sin páginas).
- ARZUDIA, C.; MARTÍNEZ, E.; AYALA, H. 1995. Algunas sapotáceas de Petén, Guatemala. Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort. 39: 119-126.
- BALERDI, C. F.; CRANE, J. H.; CAMPBELL, C. W. 1996. The sapote mamey. Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Document FC-30.
- BLACKWELL, R. D.; MURRAY, A. J. S.; LEA, P. J. 1990. Enzymes of photorespiratory carbon pathway, pp. 129-144. *In: Methods in Plant Biochemistry*. P.J. Lea (ed.). Ed. Academic Press. San Diego, USA.
- BRADFORD, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal. Biochem. 72: 248-254.
- BURDON, J. N. 1997. Postharvest handling of tropical and subtropical fruit for export. pp. 1-19. *In: Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits*. Mitra S. K. (ed.) Ed. CAB International. Wallingford, U.K.
- CAMPBELL, A. C. 1994. Handling of Florida grown and imported tropical fruits and Vegetables. HortScience 29(9): 975-978.
- CAMPBELL, J. C. F.; ZILL, G.; MAHADEEM, H. 1997. New mamey sapote cultivars from America tropical. Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort. 41: 219 -222.
- CAMPOS HERNÁNDEZ, E. 1985. Evaluación de la calidad de los frutos de los árboles de tipo criollo de mamey (*Calocarpum mammosum*) para su mejoramiento selectivo. Tesis profesional. Químico Farmacéutico Biólogo. UNAM. D. F., México.
- CASAS ALENCASTER, N. 1977. Cambios fisiológicos y bioquímicos durante la maduración del mamey (*Calocarpum mammosum*). Tesis Profesional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. D. F., México. 95 p.
- CHENG, T. S.; SHEWFELT, R. L. 1988. Effect of chilling exposure of tomatoes during subsequent ripening. J. Food Sci. 53(4): 1160-1162.
- COUEY, M. H. 1982. Chilling injury of crops of tropical and subtropical origin. HortScience 17(2): 162-165.
- DÍAZ-PÉREZ, J. C.; BAUTISTA, S.; VILLANUEVA, R. 2000. Quality changes in sapote mamey fruit during ripening and storage. Postharvest Biology and Technology 18: 67-73.
- DÍAZ-PÉREZ, J. C.; MEJÍA, A.; BAUTISTA, S.; ZAVALA, R.; VILLANUEVA, R.; GOMEZ, R. L. 2001. Response of zapote mamey (*Pouteria sapota* Jacq. H.E. Moore & Stearn) fruit to hot water treatments. Postharvest Biology and Technology 22: 159-167.

- EAKS, I. L. 1988. Effects of chilling on respiration and ethylene production of Hass avocado fruit at 20 °C. *HortScience* 18(2): 235-237.
- FIGUEROA, R. G. U. 1988. Selección de tipos criollos de chicozapote (*Achras sapota* L.) y mamey (*Calocarpum mammosum* L.) en base a sus características físicas y químicas para consumo en fresco. Tesis profesional. Facultad de ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. D. F., México. 78 p.
- FLURKEY, W. H.; JEN, J. J. 1978. Peroxidase and polyphenol oxidase activities in developing peaches. *Journal of Food Sci.* 43(5): 1828-1831.
- GRANADOS-FRIELY, J. C.; UTRERA, L. A. G. 1996. Comportamiento de la temperatura interna en frutos de zapote (*Pouteria sapota*) sometido a tratamiento hidrótermico. *Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort.* 40: 181-183.
- GRANADOS-FRIELY, J. C.; VILLAGRAN, O. R. 1996. Efecto del tratamiento hidrótermico sobre la maduración del zapote (*Pouteria sapota*) *Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort.* 40: 184-187.
- GROSS, K. C.; JI, H. H. 2000. Involvement of ethylene development of chilling injury in fresh-cut tomato slices during cold storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 125(6): 736-741.
- LAMIKANRA, O. 1995. Enzymatic browning of Muscadine grapes products, pp. 166-177. *In: Enzymatic Browning and Its Prevention.* Lee, C. L. and Whitaker J. R (eds.) Ed. ACS. Washington D.C., USA.
- LYONS, J. M. 1973. Chilling injury in plants. *Ann. Rev. Plant. Physiol.* 24: 445-466.
- MINOLTA. 1994. *Precise Color Communication.* Tokyo, Japan. 49 p.
- MITRA, S. K.; BALDWIN, E. A. 1997. Mango, pp. 85 -122. *In: Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits.* Mitra S. K. (ed.) Ed. CAB International. Wallingford, U.K.
- PENNINGTON, T. D. 1991. The genera of Sapotaceae. *Royal Botanic Garden. Kent, Great Britain.* 295 p.
- PENNINGTON, T. D.; SARUKHÁN, J. 1998. Árboles Tropicales de México: Manual para la Identificación de las Principales Especies. Ed. Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica. D. F., México. 518 p.
- PEOPLES, M. B.; DALLING, M. J. 1988. The interplay between proteolysis and amino acid metabolism during senescence and nitrogen reallocation, pp. 181-217. *In: Senescence and Aging in Plants.* Noodén, L. D and Leopold, A. C. (eds.) Ed. Academic Press. San Diego, California, USA.
- PÉREZ-TELLO G. O.; DÍAZ-PÉREZ, J. C.; ARISPURO-VARGAS, I.; BRICEÑO, T. O.; MARTÍNEZ-TELLEZ, M. A. 1999. Actividad de polifenoloxidasas y peroxidasa en frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 1(2): 120-125.
- RAO, D. V. R.; CHUNDAWAT, B. S. 1989. Postharvest changes in respiration and enzyme activities in sapota (*Manilkara achras* (Mill.) Forsberg). *Indian J. Plant Physiol.* 32(2): 105-109.
- SALCEDO, J. G. 1986. Anatomía de la unión del injerto en mamey (*Calocarpum sapota* (Jacq.) Merr.) *Universidad y Ciencia* 3(5): 23-29.
- SOLOMOS, T. 1988. Respiration in senescing plant organs: Its nature, regulation and physiological significance, pp. 111-145. *In: Senescence and Aging in Plants.* Noodén, L.D and Leopold, A.C. (eds.) Ed. Academic Press. San Diego, California. USA.
- THOMAS, P.; JANAVE, M. T. 1975. Efectos of gamma irradiation and storage temperature on carotenoids and ascorbic acid contents of mangoes on ripening. *J. Sci. Food Agric.* 26: 1503-1512.
- THOMAS, P.; OKE, M. S. 1983. Improvement in quality and storage of 'Alphonso' mangoes by cold adaptation. *Scientia Horticulturae* 19: 257-262.
- TOMAS-BARBERAN, F. A.; ESPIN, J. C. 2001. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *J. Sci. Food Agric.* 81: 853-876.
- TORAL-JARQUÍN, J. O. 1988. El cultivo de mamey (*Calocarpum sapota*). Escuela Nacional de Fruticultura. Xalapa, Veracruz, México. 40 p.
- TUCKER, G.A. 1993. Introduction, pp. 1-55 *In: Biochemistry of Fruit Ripening.* Seymour, G. B., Taylor, and Tucker, G. A. (eds.) Ed. Chapman & Hall. London. UK. 454 p.
- VÁMOS-VIGIÁZÓ, L. 1981. Polyphenol oxidase and peroxidase in fruits and vegetables. *Crit. Rev. Food. Sci. Nutr.* 15: 49-127.
- VILLANUEVA-ARCE, R.; EVANGELISTA-LOZANO, S.; ARENAS-OCAMPO, M. L.; DÍAZ-PÉREZ, J. C.; BAUTISTA-BAÑOS, S. 2000. Cambios bioquímicos y físicos durante el desarrollo y postcosecha del mamey (*Pouteria sapota* Jacq. H.E. Moore & Stearn). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 6(1): 63-72.
- WANG, C.Y. 1982. Physiological and biochemical responses of plants to chilling injury. *HortScience* 17(2): 173-186
- WATERMAN, P. G.; MOLE, S. 1994. *Analysis of Phenolic Plant Metabolites.* Ed. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK. 238 p.
- WHITAM, F. F.; BLAYDES, D. F.; DEVLIN, R. M. 1971. *Experiments in Plant Physiology.* Van Nostrand Reinhold Company. New York, USA. 245 p.
- WILLS, R.; McGLASSON, B.; GRAHAM, D.; JOYCE, D. 1998. *Introducción a la Fisiología y Manipulación Postcosecha de Frutas, Hortalizas y Plantas Ornamentales.* Ed. Acribia. Zaragoza, España. 240 p.