

EFFECTO DEL ÁCIDO 2-CLOROETIL FOSFÓNICO SOBRE LA MADURACIÓN DE FRUTOS DE ZAPOTE MAMEY

Juan Emilio Álvarez-Vargas¹; Sergio Humberto Chávez-Franco¹;
Irán Alia-Tejaca^{3*}; Daniel Nieto-Ángel²; Salvador Valle-Guadarrama⁴

¹Programa de Fruticultura, ²Fitosanidad Colegio de Postgraduados.

km 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Estado de México. MÉXICO. C. P. 56230.

³Facultad de Ciencias Agropecuarias, Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Universidad Núm. 1001, Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos. MÉXICO. C. P. 62209. Correo-e: ijac96@yahoo.com.mx (*Autor para correspondencia).

⁴Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Estado de México. MÉXICO. C. P. 56230.

RESUMEN

Frutos de zapote mamey cosechados en madurez fisiológica se colocaron en recipientes de 35 L donde se aplicaron tres dosis de etefón (ácido-2-cloroetil fosfónico 0, 100 y 500 mg·L⁻¹), durante 24 horas. Al salir del tratamiento, los frutos fueron almacenados por 0, 7, 14, 21 y 28 días a 10 °C. Al cumplir los periodos de almacenamiento se maduraron a temperatura ambiente (24 °C ± 1; 50-60 % HR) por ocho días. La maduración de los frutos tratados con o sin etefón fue homogénea. Las características de calidad no fueron afectadas negativamente por la aplicación de etefón. A los 14 días de almacenamiento a 10 °C ± 1 y ocho días a temperatura ambiente se iniciaron síntomas de daño por frío, mismos que fueron moderados y severos después de almacenarlos por 21 y 28 días a la misma temperatura. Los frutos almacenados por 21 y 28 días a 10 ± 1 °C y, dejándolos a temperatura ambiente, 24 ± 1 °C para su maduración, mostraron indicios de daños por frío e incremento en la presencia de patógenos en la pulpa, y menor contenido de sólidos solubles totales. La luminosidad disminuyó significativamente, mientras que el matiz y cromaticidad se incrementaron, en este último asociado al síntoma de daño por frío en la pulpa (lignificación y manchado). Después del almacenamiento, la respiración y producción de etileno se incrementaron significativamente, incluso en los frutos donde no se aplicó etefón, lo que sugiere que no hubo respuesta significativa al etileno exógeno en estos parámetros.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: Etetón, *Pouteria sapota*, etileno, respiración, sólidos solubles totales, daño por frío, calidad.

EFFECT OF 2-CHLOROETHYL PHOSPHONIC ACID ON MAMEY SAPOTE FRUIT RIPENING

ABSTRACT

Mamey sapote fruits harvested at physiological maturity were stored in 35 L containers and ethephon (2-chloroethyl phosphonic acid) was applied at 0, 100 and 500 mg·L⁻¹ doses during 24 h. After this treatment, the fruits were stored during 0, 7, 14, 21 and 28 days at 10°C and then they were transferred at room temperature (24 ± 1°C, 50-60 % RH) during another eight days. The fruit ripening treated with or without ethephon was homogeneous. The quality characteristics were not adversely affected by ethephon use. After 14 storage days at 10°C ± 1 and eight days at room temperature the chilling injury symptoms started to show, and they were mild to severe after 21 and 28 storage days at the same temperature. The fruits stored during 21 and 28 days at 10± 1°C and ripened at room temperature, 24 ±1°C, showed chilling injury symptoms and increased presence of pathogens in the pulp, and lower total soluble solids content. Luminosity decreased significantly while the hue and chromaticity increased, the latter associated to chilling injury symptoms in the pulp (lignification and flesh browning). Respiration and ethylene production increased significantly after storage, even in the fruits where no ethephon was applied, suggesting that there was no significant response to exogenous ethylene on these parameters.

ADDITIONAL KEYWORDS: Ethephon, *Pouteria sapota*, ethylene, respiration, total soluble solids, chilling injury, quality.

INTRODUCCIÓN

El zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn] es un árbol originario de México y América Central (Balerdi y Shaw, 1998; Bautista-Baños *et al.*, 2005). En México se encuentra distribuido en todas las zonas tropicales, como parte integrante de la selva alta perennifolia, o cultivado con otros frutales en huertas de poca extensión (Toral, 1998). El árbol produce un fruto exótico y, por sus características organolépticas y nutricionales, se consume en fresco en el mercado nacional (Pennington y Sarukhán, 2005). En su madurez el fruto es una baya monoesperma con diferentes formas: ovoide, fusiforme, elongada y asimétrica o casi esférica (Espinosa *et al.*, 2009). Después de cosecharlo, el fruto madura rápidamente entre tres y 10 días (Balerdi y Shaw, 1998), lo que limita su comercialización.

Actualmente no se tienen cultivares mejorados en México, por lo que las plantaciones son de tipos criollos, algunos considerados como sobresalientes por su calidad (Saucedo-Veloz *et al.*, 2001); sin embargo, recientemente se han realizado esfuerzos en estados como Michoacán, Guerrero, Yucatán, Morelos y Chiapas con la finalidad de conocer la diversidad del zapote mamey y detectar materiales sobresalientes para utilizarlos en forma comercial (Espinosa *et al.*, 2005; Bayuelo y Ochoa, 2006; Bayuelo *et al.*, 2007; Gaona-García *et al.*, 2008; Domínguez *et al.*, 2010). En Yucatán y Guerrero ya se tienen selecciones como 'Magaña 1' 'Magaña 2' y 'Pardo' (Espinosa *et al.*, 2009; Téllez *et al.*, 2009).

En México se tienen reportadas poco más de 1,700 ha plantadas con zapote mamey (Anónimo, 2012), de las cuales 90 % son materiales a pie franco, lo que ocasiona gran heterogeneidad en la producción. Los frutos de zapote mamey son cosechados con ayuda de una pértiga larga provista con una canasta en su extremo para evitar que los frutos se dañen al caer al suelo. Esto se puede realizar desde el suelo o subiendo a los árboles (Alia-Tejagal *et al.*, 2007; Espinosa *et al.*, 2005). El índice de cosecha utilizado consiste en eliminar una porción de la epidermis en la parte apical del fruto, y si se observa una coloración salmón, naranja o rojiza, el fruto madurará (Alia *et al.*, 2005). Este índice de cosecha subjetivo, genera que se cosechen frutos con diferentes estados de maduración y por lo tanto se producen problemas en su comercialización.

Los estudios de investigación en el manejo poscosecha del fruto de zapote mamey se han enfocado hacia el incremento de la vida útil del producto con tecnologías como refrigeración (Díaz-Pérez *et al.*, 2000; Alia-Tejagal *et al.*, 2002; Alia *et al.*, 2005; Martínez-Morales *et al.*, 2008; Gómez *et al.*, 2009), atmósferas modificadas (Ramos-Ramírez *et al.*, 2009), atmósferas controladas (Manzano, 2001; Martínez-Morales *et al.*, 2008) y retardadores de la maduración (Ergun *et al.*, 2005; Téllez *et al.*, 2009). Pero poca ha sido la atención hacia el problema de la heterogeneidad de la maduración en los frutos de zapote mamey.

Los frutos climatéricos, como el zapote mamey, son frecuentemente cosechados en madurez fisiológica o an-

INTRODUCTION

Mamey sapote [*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn] is a tree native to Mexico and Central America (Balerdi and Shaw, 1998; Bautista-Baños *et al.*, 2005). In Mexico it is distributed in all tropical areas, as part of the high evergreen forest, or grown with other fruit trees in small orchards (Toral, 1998). The tree produces an exotic fruit that because of its organoleptic and nutritional characteristics, it is consumed fresh in the national market (Pennington and Sarukhán, 2005). When already mature, the fruit is a monospermous berry with different shapes: oval, fusiform, elongated, asymmetrical or nearly spherical (Espinosa *et al.*, 2009). After harvested, the fruit ripens quickly between three and 10 days (Balerdi and Shaw, 1998) limiting its commercialization.

Currently there are not improved mamey sapote cultivars in Mexico, thus plantations are native types with some of them considered outstanding because of their quality (Saucedo-Veloz *et al.*, 2001); however, recently there have been efforts in some states like Michoacán, Guerrero, Yucatán, Morelos and Chiapas to know the mamey sapote diversity and detect materials for possible commercial use (Espinosa *et al.*, 2005; Bayuelo and Ochoa, 2006; Bayuelo *et al.*, 2007; Gaona-García *et al.*, 2008; Domínguez *et al.*, 2010). In Yucatán and Guerrero there are already some selections such as Magaña 1, Magaña 2 and Pardo (Espinosa *et al.*, 2009; Téllez *et al.*, 2009).

In Mexico, there are just over 1,700 ha planted with mamey sapote reportedly (Anónimo, 2012) and 90% of these are ungrafted materials, causing great heterogeneity in production. Mamey sapote fruits are harvested using a long pole fitted with a basket on the end to prevent damage to the fruits in case they might fall to the ground. This can be done from the ground or from climbing the trees (Alia-Tejagal *et al.*, 2007; Espinosa *et al.*, 2005). The harvest index used consist of removing an epidermis portion in the apical part of the fruit, and if there is a salmon color, orange or red, the fruit will ripen (Alia *et al.*, 2005). This subjective harvest index generates fruits harvested at different ripening stages and, therefore, problems in its commercialization.

Research studies on mamey sapote postharvest handling have been mainly focused on increasing the product life with cooling technologies (Díaz-Pérez *et al.*, 2000; Alia-Tejagal *et al.*, 2002; Alia *et al.*, 2005; Martínez-Morales *et al.*, 2008; Gómez *et al.*, 2009), modified atmospheres (Ramos-Ramírez *et al.*, 2009), controlled atmospheres (Manzano, 2001; Martínez-Morales *et al.*, 2008) or retarding ripening (Ergun *et al.*, 2005; Téllez *et al.*, 2009), but almost no attention to the maturation heterogeneity problem in mamey sapote fruits.

Climacteric fruits such as mamey sapote are often harvested at physiological maturity or right before its consumption maturity, and they are transported to the market or consumption centers while the fruit is not yet ready for consumption (Wills *et al.*, 2007). This handling method has

tes de su madurez de consumo, y transportados del campo hasta los sitios de comercialización o consumo mientras el fruto aún no está listo para consumo (Wills *et al.*, 2007). Este manejo tiene la ventaja de que el fruto en esta etapa fisiológica tiene menor susceptibilidad al daño mecánico y resiste más la senescencia durante su transporte (Wills, 2005). En frutos como el plátano, pera, kiwi, mango, jitomate, etcétera, una vez que están en su lugar de comercialización son madurados en cámaras donde se controla la temperatura, humedad relativa y en algunos de ellos con etileno, etefón o carburo de calcio (Watkins, 2002; Wills *et al.*, 2007). Además del control de la maduración, la aplicación de etileno mejora la homogenización de la etapa de maduración entre frutos (Wills, 2005).

En particular, el etefón (ácido-2 cloroetil-fosfónico) es un regulador de crecimiento cuyas moléculas, cuando se coloca en solución con pH arriba de 5.0, se hidrolizan y liberan etileno (Reid, 2002). El etefón se puede aplicar al fruto en solución acuosa, en forma asperjada o por inmersión. En pequeña escala, en algunos productos se puede utilizar el método de "disparo", el cual consiste en colocar la cantidad adecuada de etefón en un recipiente y adicionar sosa cáustica para liberar el etileno (Reid, 2002). Ladaniya (2008) reporta el uso de este método en mandarinas 'Nagpur' e indica efectividad en el desverdizado del fruto. Además, recomienda el método para frutos climatéricos, dado que es un procedimiento barato y fácil de adoptar. El uso de etefón puede ser una alternativa para los productores o comercializadores de zapote mamey, en el intento por homogenizar la maduración y ofrecer productos de mejor calidad.

Díaz-Pérez *et al.* (1997) realizaron inmersiones en soluciones de etefón con concentraciones entre 500 y 1,000 mg·L⁻¹, con lo que adelantaron y homogenizaron la maduración. Saucedo-Veloz *et al.* (2001) realizaron aplicaciones de etileno con 50 y 170 µL·L⁻¹ por 24 horas a 20 y 25 °C y observaron poca respuesta en la velocidad de maduración, aunque sí mejoró la concentración de azúcares totales en el fruto. Por lo anterior, la liberación de etileno a partir del etefón puede funcionar en la homogenización del fruto de zapote mamey.

Por otra parte, diferentes reportes indican que la temperatura óptima de almacenamiento de los frutos de zapote mamey está entre los 10 y 15 °C, y esto depende del cultivar, época de cosecha y madurez del fruto (Alia-Tejagal *et al.*, 2007). Recientemente, Gómez *et al.* (2009) indicaron que la mejor temperatura de almacenamiento del zapote mamey es 13 °C. Después de 13 o 21 días a 10 °C los frutos presentan daños por frío (Díaz-Pérez *et al.*, 2000; Alia *et al.*, 2005; Téllez *et al.*, 2009; Gómez *et al.*, 2009). En algunos reportes se ha indicado que la aplicación de etileno antes del almacenamiento a bajas temperatura puede favorecer una mayor resistencia al daño por frío en mango 'Kensington' (Nair y Singh, 2003). En tanto, en el aguacate la aplicación previa de etileno incrementa la severidad del daño por frío (Pesis *et al.*, 2002).

the advantage that fruit at this physiological stage has less susceptibility to mechanical damage and is more resistant to senescence during transportation (Wills, 2005). Fruits like banana, pear, kiwi, mango, tomatoes, etc., once they are in place for marketing, they are ripened in controlled chambers with temperature and relative humidity control, and in some cases with ethylene, ethephon or calcium carbide addition (Watkins, 2002; Wills *et al.*, 2007). Besides to ripening control, ethylene improves homogenization between fruit ripening (Wills, 2005).

Ethephon (2-chloroethyl-phosphonic acid) is a growth regulator whose molecules, at pH higher than 5.0, are hydrolyzed and release ethylene (Reid, 2002). Ethephon can be applied to the fruit in aqueous solution, sprayed or by dipping. On a small scale and in some products the «shooting» method can be used. This method consists in putting the right amount of ethephon in a bowl and adding caustic soda to release ethylene (Reid, 2002). Ladaniya (2008) reported the use of this method in 'Nagpur' mandarins and saw its effectiveness on degreening of the fruit. Furthermore, the method was recommended for climacteric fruits, since it is a cheap and easy method to adopt. The ethephon use may be an alternative for mamey sapote producers or traders, in an attempt to homogenize the maturation and provide better quality products.

Díaz-Pérez *et al.* (1997) performed immersions in ethephon solutions with concentrations between 500 and 1,000 mg·L⁻¹, as a result, they could anticipate and homogenize maturation. Saucedo-Veloz *et al.* (2001) conducted ethylene applications with 50 and 170 mL·L⁻¹ during 24 hours at 20 and 25 °C and they observed low response in the maturation rate, but the total sugars concentration in the fruit did improve. Therefore, ethylene released from ethephon can homogenize mamey sapote fruit.

On the other hand, various reports show that the mamey sapote optimal storage temperature is between 10 and 15 °C, and this depends on the cultivar, harvest time and fruit maturity (Alia-Tejagal *et al.*, 2007). Recently, Gómez *et al.* (2009) reported that the best storage temperature for mamey sapote is 13 °C. After 13 or 21 days at 10 °C the fruits are damaged by cold (Díaz-Pérez *et al.*, 2000; Alia *et al.*, 2005; Téllez *et al.*, 2009; Gómez *et al.*, 2009). In some reports, it has been mentioned that ethylene use prior to storage at low temperature may contribute to increase resistance to chilling injury in Kensington mango (Nair and Singh, 2003). Meanwhile prior application of ethylene in the avocado increases the severity of chilling injury (Pesis *et al.*, 2002).

The aim of the present investigation is to evaluate the postharvest behavior of mamey sapote fruits at low temperatures during various periods of time after application of different ethephon doses.

Actualmente no se ha evaluado el comportamiento poscosecha de frutos de zapote mamey en temperaturas bajas por diversos periodos de tiempo después de aplicar diferentes dosis de etefón, el cual es el objetivo de la presente investigación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

Se colectaron frutos de zapote mamey en madurez fisiológica provenientes de árboles criollos previamente ubicados como materiales de características de fruto atractivas para su comercialización (Gaona-García *et al.*, 2008). La cosecha se realizó en el mes de abril de 2010. Los frutos se colectaron en forma tradicional, donde el cortador realiza una incisión en la cáscara del fruto cercano al pedúnculo con el propósito de identificar el color de la pulpa: rosado, naranja o rojo. Esta característica es la señal de que este fruto alcanzará la madurez de consumo. Los frutos fueron transportados en costales de plástico con capacidad de 20 kg al Laboratorio de Producción Agrícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, donde se extrajeron de los costales y se dejaron sobre mesas durante 12 horas antes de iniciar los tratamientos.

Organización experimental

Para la aplicación del etefón, se colocaron 21 frutos sobre una parrilla dentro de un recipiente de 35 L, distribuidos alrededor de un tubo de PVC con perforaciones de 7 mm de diámetro. En la parte inferior del tubo se colocó un recipiente con 0.05, 0.17 y 0.29 g de hidróxido de sodio. El etefón fue depositado con una pipeta graduada de 5 mL, con lo que se inició la reacción de liberación del etileno (Ladaniya, 2008; Kader, 2002).

Una vez terminado el tiempo de almacenamiento en los botes de 35 L, los frutos fueron sacados y agrupados por tratamientos para almacenarlos a $10^{\circ}\text{C} \pm 1$ durante 28 días, sacando lotes de frutos a los 0, 7, 14, 21 y 28 días (d). Posteriormente los frutos se dejaron madurar a temperatura ambiente ($24^{\circ}\text{C} \pm 1$; 70 % HR) con ventilación e iluminación natural durante 8 d después del acondicionamiento a temperatura ambiente. Se hicieron evaluaciones destructivas a los 0, 4 y 8 d. Los tratamientos fueron:

- 1) Sin aplicación de etefón (SE) + 8 d a 24°C (Testigo),
- 2) Aplicación de etefón (AE) durante 24 h, $0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ +8 d a 24°C ,
- 3) AE durante 24 h, $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ + 8 d a 24°C ,
- 4) AE durante 24 h, $500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ + 8 d a 24°C ,
- 5) AE durante 24 h, $0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a 10°C por 7 d + 8 d a 24°C ,
- 6) AE durante 24 h, $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a 10°C por 7 d + 8 d a 24°C ,
- 7) AE durante 24 h, $500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a 10°C por 7 d + 8 d a 24°C ,

MATERIALS AND METHODS

Location

Mamey sapote fruits were collected at physiological maturity from creole trees previously located as materials with attractive features for marketing (Gaona-García *et al.*, 2008). The harvest took place in April 2010. The fruits were collected in the traditional way, where the cutter makes an incision in the skin of the fruit near the stem with the purpose of identifying the pulp color: pink, orange or red. This characteristic is a sign that this fruit will reach the consumer ripening. The fruits were transported in 20 kg plastic bags to the Agricultural Production Laboratory of the Faculty of Agricultural Sciences at the Autonomous University of Morelos State, where the bags were removed and the material left on tables during 12 h before starting the treatments.

Experimental organization

For ethephon application, 21 fruits were placed in a 35 L container on a grill; they were distributed around a PVC pipe that had 7 mm diameter perforations. At the bottom of the tube a container was placed with 0.05, 0.17 and 0.29 g of sodium hydroxide. Ethephon was deposited with a 5 mL pipette, whereby the ethylene release reaction was started (Ladaniya, 2008; Kader, 2002).

Once the storage time in the 35 L containers finished, the fruits were removed and grouped by treatments to store them at $10^{\circ}\text{C} \pm 1$ during 28 days; and lots of fruits at 0, 7, 14, 21 and 28 days (d) were taken. Then the fruits were allowed to ripen at room temperature ($24 \pm 1^{\circ}\text{C}$, 70 % RH) with natural ventilation and lighting during 8 d after conditioning at room temperature. Destructive evaluations at 0, 4 and 8 d were made. The treatments were:

- 1) No ethephon application (NE) + 8 d at 24°C (control),
- 2) Ethephon application (EA) during 24 h, $0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ + 8 days at 24°C ,
- 3) EA during 24 h, $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ + 8 d at 24°C ,
- 4) EA during 24 h, $500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ + 8 d at 24°C ,
- 5) EA during 24 h, $0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ at 10°C during 7 d + 8 d at 24°C ,
- 6) EA during 24 h, $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ at 10°C during 7 d + 8 d at 24°C ,
- 7) EA during 24 h, $500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ at 10°C during 7 d + 8 d at 24°C ,
- 8) EA during 24 h, $0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ + 10°C storage during 14 d + 8 d at 24°C ,
- 9) EA during 24 h, $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ + 10°C storage during 14 d + 8 d at 24°C ,
- 10) EA during 24 h, $500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ + 10°C storage during 14 d + 8 d at 24°C ,
- 11) EA during 24 h, $0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ + 10°C storage during 21 ds

- 8) AE durante 24 h, 0 mg·L⁻¹+ almacenamiento a 10 °C por 14 d + 8 d a 24 °C,
- 9) AE durante 24 h, 100 mg·L⁻¹+ almacenamiento a 10 °C por 14 d + 8 d a 24 °C,
- 10) AE durante 24 h, 500 mg·L⁻¹+ almacenamiento a 10 °C por 14 d + 8 d a 24 °C,
- 11) AE durante 24 h, 0 mg·L⁻¹+ almacenamiento a 10 °C por 21 d + 8 d a 24 °C,
- 12) AE durante 24 h, 100 mg·L⁻¹+ almacenamiento a 10 °C por 21 d + 8 d a 24 °C,
- 13) AE durante 24 h, 500 mg·L⁻¹+ almacenamiento a 10 °C por 21 d + 8 d a 24 °C,
- 14) AE durante 24 h, 0, mg·L⁻¹+ almacenamiento a 10 °C por 28 d + 8 d a 24 °C.
- 15) AE durante 24 h, 100 mg·L⁻¹+ almacenamiento a 10 °C por 28 d + 8 d a 24 °C.
- 16) AE durante 24 h, 500 mg·L⁻¹+ almacenamiento a 10 °C por 28 d + 8 d a 24 °C.

Variables evaluadas

Producción de CO₂ y etileno

Se evaluó encerrando dos frutos en un frasco de vidrio de 4.160 L durante una hora, y después se tomaron con una aguja hipodérmica 5 mL del espacio de cabeza; este gas se almacenó al vacío en Vacuntainer® (Becton Dickinson, Co.). La cuantificación se realizó en un cromatógrafo de gases (Varian Star 3400) con una columna capilar empacada y fase estacionaria Poraplot Q y detectores de ionización de flama y de conductividad térmica. La temperatura del horno fue de 80 °C, la del inyector de 150 °C y la de los detectores de 170 °C. Se utilizó helio como gas de arrastre (Pachuqueño *et al.*, 2010).

Pérdida de peso

Los frutos se evaluaron individualmente en una balanza digital OHAUS® (0.01 g). Las pérdidas de peso se reportaron acumulativas. Los valores se reportaron como porcentaje por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdida de peso} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

Sólidos Solubles Totales (SST)

Se utilizó un refractómetro digital marca ATAGO® modelo PAL1. Se tomaron 20 g de la pulpa del fruto, se homogenizaron con 100 mL de agua destilada y posteriormente se filtraron. Del filtrado se tomó una gota y se depositó en el lector de un refractómetro digital. El valor obtenido se reportó en °Brix.

Color

Se evaluó retirando una pequeña porción de la cáscara en dos lados opuestos de la parte ecuatorial del fruto, en

+ 8 d at 24 °C,

12) EA during 24 h, 100 mg·L⁻¹ + 10 °C storage during 21 d + 8 d at 24 °C,

13) EA during 24 h, 500 mg·L⁻¹ + 10 °C storage during 21 d + 8 d at 24 °C,

14) EA during 24 h, 0, mg·L⁻¹ + 10 °C storage during 28 d + 8 d at 24 °C,

15) EA during 24 h, 100 mg·L⁻¹ + 10 °C storage during 28 d + 8 d at 24 °C,

16) EA during 24 h, 500 mg·L⁻¹ + 10 °C storage during 28 d + 8 d at 24 °C.

Variables evaluated

CO₂ and ethylene production

Two fruits were placed in a 4.160L glass flask during one hour, and then with a hypodermic needle 5 mL of headspace were taken; this gas was stored under vacuum in a Vacuntainer™ (Becton Dickinson Co.). Quantification was performed in a gas chromatograph (Varian Star 3400) with a packed capillary column and Poraplot Q as stationary phase, and flame ionization and thermal conductivity detectors. The oven temperature was set at 80 °C, injector 150 °C and detectors at 170 °C. Helium was used as carrier gas (Pachuqueño *et al.*, 2010).

Weight loss

The fruits were evaluated individually on an OHAUS™ digital scale (0.01 g). Weight losses were reported cumulative. Values were recorded as percentage by the following formula:

Total soluble solids (TSS)

A digital refractometer Atago™ model PAL1 was used. 20 g from the pulp of the fruit were taken, homogenized with 100 mL of distilled water and filtered. From the filtrate a drop was taken and deposited in the reader of the digital refractometer. The value obtained was reported in °Brix.

Color

It was evaluated by removing a small portion of the shell in two opposite sides of the equatorial portion of the fruit, where two readings were taken with a spectrophotometer (X-rite, Model 3960), expressing L* values (100 = pure white, 0 = pure black), a* and b* (chromaticity coordinates; +a* = red, -a* = green, +b* = yellow, -b* = blue). The luminosity (L*), hue angle (H* = tan⁻¹(b/a); 90 = pure yellow, 0 = pure red) and chromaticity (C* = (a² + b²)^{1/2}) and the change degree of gray to the pure chromatic color (Shewfelt, 2003) were reported.

Chilling injury index (%) in pulp

The fruits were sectioned transversely and visually evaluated in pulp with six grades in a hedonic scale, 0 = 0 % damage, 1 = from 1 to 5 % damage, 2 = 6 to 15 % damage,

el cual se tomaron dos lecturas con un espectrofotómetro (X-rite, Mod. 3960), expresando valores de L^* (100 = blanco puro, 0 = negro puro), a^* y b^* (coordenadas de cromaticidad; $+a^*$ = rojo, $-a^*$ = verde; $+b^*$ = amarillo, $-b^*$ = azul). Se reportó la luminosidad (L^*), el ángulo matiz ($H^* = \tan^{-1}(b/a)$; (90 = amarillo puro, 0 = rojo puro) y cromaticidad ($C^* = (a^2 + b^2)^{1/2}$); el grado de cambio de gris hacia el color cromático puro (Shewfelt, 2003).

Índice de daño por frío (%) en pulpa

Los frutos fueron seccionados transversalmente y se evaluaron visualmente en la pulpa con seis calificaciones en una escala hedónica; 0 = 0 % de daño, 1 = de 1 hasta 5 % de daño, 2 = de 6 hasta 15 % de daño, 3 = de 16 hasta 25 % de daño, 4 = de 26 hasta 50 % de daño y 5 = más del 50 % de daño. Los síntomas considerados como daños por frío fueron áreas con incapacidad de madurar, acuosas y/u oscuras, presencia de lignificaciones (Alia *et al.*, 2005).

Análisis estadístico

Se usó un diseño experimental completamente al azar con diseño de tratamientos factorial. Los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANVA) y comparación de medias (Tukey $P \leq 0.05$) con el programa SAS 9.2 (Anónimo, 1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respiración y producción de etileno

Los frutos de zapote mamey testigo mostraron un comportamiento climatérico, con máximos en la producción de respiración y etileno al tercer y cuarto día después de cosechados. Los valores máximos fueron de $71.2 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ y $68.5 \text{ } \mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, respectivamente (Figura 1; Cuadro 2). Diferentes autores han indicado valores en los máximos de respiración entre 83 y $365 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ y de etileno entre 81 y $503 \text{ } \mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (Villanueva *et al.*, 2000; Díaz-Pérez *et al.*, 2000; Arenas *et al.*, 2003; Alia *et al.*, 2005; Ergun *et al.*, 2005; Martínez *et al.*, 2006; Martínez-Morales *et al.*, 2008; Téllez *et al.*, 2009). La variación de los datos se atribuye a que los frutos provienen de árboles criollos, lo que ocasiona gran heterogeneidad y las condiciones de temperatura cuando se evaluaron: entre 20 y 30°C (Martínez *et al.*, 2006).

Los frutos donde se aplicaron $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de etefón mostraron menor producción de etileno (Cuadro 1), en tanto que la respiración no mostró diferencias entre los frutos tratados con 0, 100 o $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de etefón (Cuadro 2). Saucedo-Veloz *et al.* (2001), al aplicar gas etileno en dosis de 50 y $176 \text{ } \mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ a frutos de zapote mamey, detectaron mayor respiración y producción de etileno que aquellos frutos donde no se aplicó esta hormona. Díaz-Pérez *et al.* (1997) indican que la inmersión de frutos de zapote mamey en diferentes concentraciones de etefón (entre 500 y $1,000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) adelantó y uniformizó la maduración del fruto. Estos resultados son diferentes a lo observado en el presente trabajo, donde poco efecto se observó de la

3 = 16 to 25 % damage, 4 = 26 to 50 % damage and 5 = more than 50 % damage. Symptoms considered as chilling injury were areas unable to mature, aqueous and/ or dark, lignifications presence (Alia *et al.*, 2005).

Statistical Analysis

A completely randomized design with factorial treatment design was used. Data were subjected to variance analysis (ANOVA) and means comparison (Tukey, $P \leq 0.05$) using SAS 9.2 software (Anonymous, 1998).

RESULTS AND DISCUSSION

Respiration and ethylene production

Mamey sapote controls showed a climacteric behavior with peaks in respiration and ethylene production on the third and fourth days after harvested. The maximum values were $71.2 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ and $68.5 \text{ } \mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ respectively (Figure 1, Table 2). Different authors have reported peak

CUADRO 1. Comportamiento de la respiración y producción de etileno de frutos de zapote mamey almacenados a $10 \pm 1^\circ\text{C}$ por diferentes periodos y madurados a temperatura ambiente ($24^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$).

TABLE 1. Respiration behavior and ethylene production of mamey sapote fruit stored at $10 \pm 1^\circ\text{C}$ during different periods and ripened at room temperature ($24^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$).

Factor	Respiración / Respiration rate	Etileno / Ethylene production
	$\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$	$\mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$
Dosis de etefón (DET) $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ / Ethephon doses (ETD) mg L^{-1}		
0	65.5 a ^z	94.7 a
100	68.3 a	100.7 a
500	60.0 b	100.4 a
DMSH / HSD	5.3	16.4
C.V.	37.0	75.3
Días de almacenamiento (DA) / Storage days (SD)		
0	44.3 c	122.3 a
7	51.8 c	104.7 ab
14	62.2 b	107.8 ab
21	68.8 b	71.3 c
28	95.9 a	86.8 bc
DMSH /HSD	8.0	24.7
Días de evaluación (DEV) / Evaluation days (EVD)		
0	40.7 c	92.1 b
4	73.5 a	111.0 a
8	66.2 b	45.4 c
DMSH / HSD	5.1	13.1
DET* DEV / ETD*EVD	***	***
DET * DA / ETD*SD	***	NS
DEV * DA / EVD* SD	***	***
DET * DEV* DA / ETD*EVD*SO	***	***

^z: Medias con letras diferentes dentro de cada factor (DET, DA y DEV) en el sentido de las columnas indican igualdad de acuerdo con la prueba de Tukey a 0.05. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

^z: Means with different letters within each factor (ETD, SD and EVD) in the columns indicate equality according to the Tukey test at 0.05. HSD: Honestly significant difference.

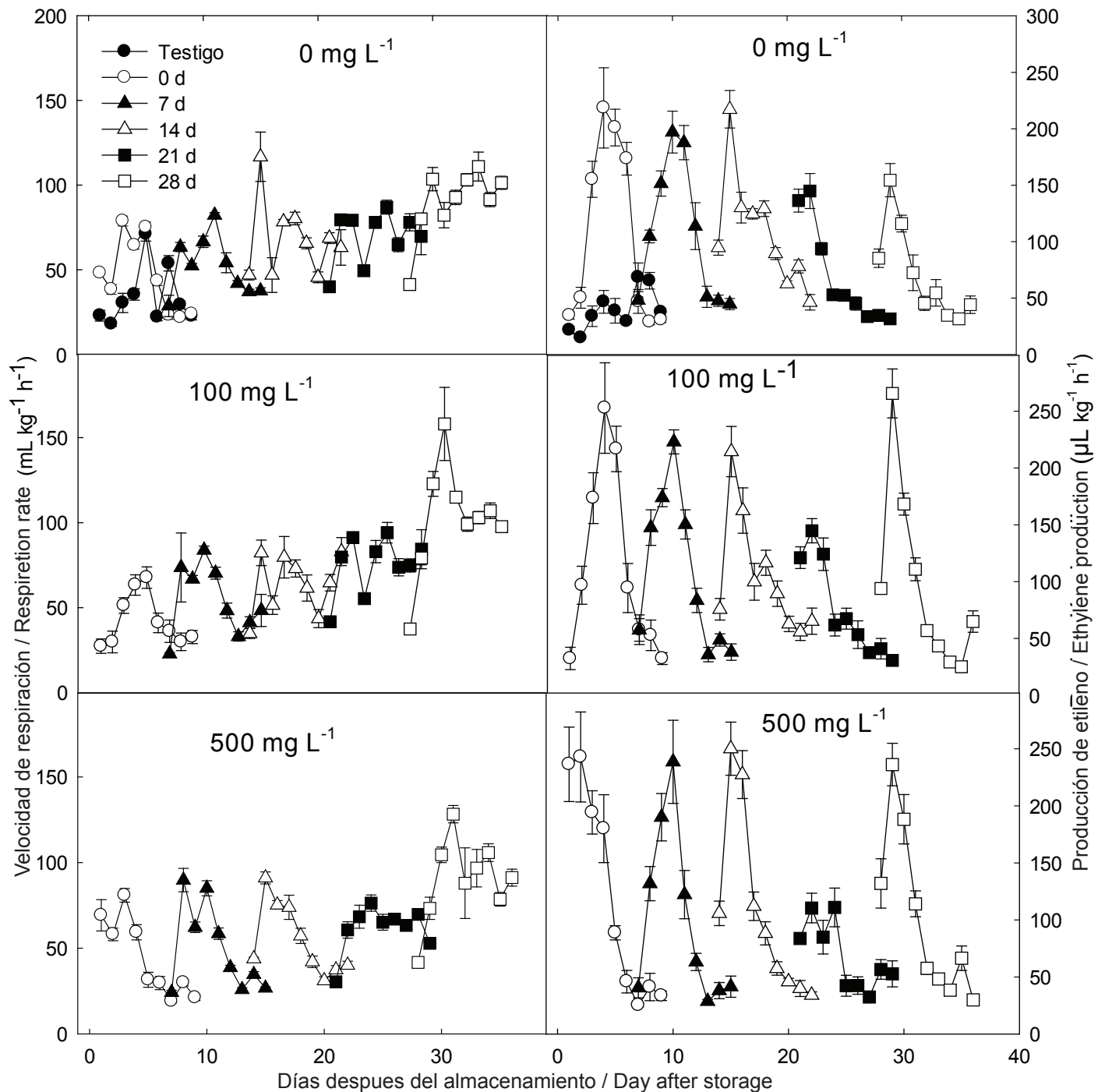


FIGURA 1. Velocidad de respiración y producción de etileno en frutos de zapote mamey tratados con y sin aplicación de etefón y almacenados por 0, 7, 14, 21 y 28 d a $10 \pm 1^\circ\text{C}$ y madurados a $24 \pm 1^\circ\text{C}$. Cada valor representa la media de cinco observaciones y se muestra el error estándar.

FIGURE 1. Respiration rate and ethylene production in mamey sapote fruit treated with and without ethephon application and stored during 0, 7, 14, 21 and 28 days at $10 \pm 1^\circ\text{C}$ and ripened at $24 \pm 1^\circ\text{C}$. Each value represents five observations mean and the standard error is shown.

aplicación del etefón en la velocidad de respiración. En papaya, la aplicación de ethrel no afectó la producción de etileno o respiración durante su maduración, a pesar de que existió adelanto en la maduración (Sañudo *et al.*, 2008). Lo anterior indica que probablemente las dosis utilizadas de etefón no fueron suficientes para ocasionar un efecto en la fisiología y bioquímica de la maduración de los frutos de zapote mamey.

values in respiration between 83 and $365 \text{ mL kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ and ethylene between 81 and $503 \text{ mL kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ (Villanueva *et al.*, 2000, Díaz- Pérez *et al.*, 2000, Arenas *et al.*, 2003; Alia *et al.*, 2005; Ergun *et al.*, 2005, Martínez *et al.*, 2006, Martínez- Morales *et al.*, 2008; Téllez *et al.*, 2009). The data variation is attributed to the fruits coming from creole trees causing high heterogeneity and temperature conditions between 20 and 30°C when tested (Martínez *et al.*, 2006).

CUADRO 2. Máximos de la respiración, producción de etileno y los días en que alcanzaron este valor en frutos de zapote mamey, almacenados a bajas temperaturas (10 ± 1 °C) previa aplicación de etefón.

TABLE 2. Respiration peaks, ethylene production and days taken to reach this value in mamey sapote fruits, stored at low temperature (10 ± 1 °C) after ethephon application.

Tratamiento / Treatment	Máximo de CO_2 / CO_2 peak ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)	Día del máximo / Peak day	Máximo de etileno / Ethylene peak ($\mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)	Día del máximo / Peak day
SE + 8 d a 24 °C	71.2 ef ^z	5	68.5 f	4
AE 24 h 0 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ + 8 d a 24 °C	78.9 ef	3	218.5 a-c	7
AE 24 h 100 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ + 8 d a 24 °C	67.7 f	5	252.8 ab	4
AE 24 h 500 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ + 8 d a 24 ± 1 °C	80.9 ef	3	242.9 ab	2
AE 24 h 0 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ + 7 d a 10 ± 1 °C + 8 d a 24 ± 1 °C	82.3 ef	5	197.1 b-d	4
AE 24 h 100 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ + 7 d a 10 ± 1 °C + 8 d a 24 ± 1 °C	83.9 ef	4	223.0 ab	4
AE 24 h 500 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ + 7 d a 10 ± 1 °C + 8 d a 24 ± 1 °C	89.9 d-f	2	238.7 bc	4
AE 24 h 0 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ + 14 d a 10 ± 1 °C + 8 d a 24 ± 1 °C	116.8 bc	2	217.3 a-c	2
AE 24 h 100 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ + 14 d a 10 ± 1 °C + 8 d a 24 ± 1 °C	82.9 ef	2	214.4 a-c	2
AE 24 h 500 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ + 14 d a 10 ± 1 °C + 8 d a 24 ± 1 °C	91.1 de	2	250.2 ab	2
AE 24 h 0 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ + 21 d a 10 ± 1 °C + 8 d a 24 ± 1 °C	87.0 ef	6	144.9 de	2
AE 24 h 100 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ + 21 d a 10 ± 1 °C + 8 d a 24 ± 1 °C	94.1 c-e	6	144.7 de	2
AE 24 h 500 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ + 21 d a 10 ± 1 °C + 8 d a 24 ± 1 °C	76.4 ef	4	111.0 ef	4
AE 24 h 0 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ + 28 d a 10 ± 1 °C + 8 d a 24 ± 1 °C	110.9 b-d	7	154.5 c-e	2
AE 24 h 100 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ + 28 d a 10 ± 1 °C + 8 d a 24 ± 1 °C	158.0 a	4	265.7 a	2
AE 24 h 500 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ + 28 d a 10 ± 1 °C + 8 d a 24 ± 1 °C	128.3 b	4	236.3 ab	2
CV	22.2		63.7	
DMSH / HSD	22.19		68.18	

^z: Medias con letras diferentes en el sentido de las columnas indican similitud de acuerdo con la prueba de Tukey a 0.05. CV: Coeficiente de variación. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.
^z: Means with different letters in the columns indicate similarity according to the Tukey test at 0.05. CV: coefficient of variation, HSD: Honestly significant difference.

Los días de evaluación afectaron significativamente la velocidad de respiración y producción de etileno. Se observó que los frutos almacenados por 0 y 7 días mostraron los valores menores de respiración, seguidos de los frutos almacenados por 14 y 21 días, y finalmente los frutos almacenados por 28 días (Cuadro 1; Figura 1). Los promedios de los valores de respiración fueron 13.2, 28.2 y 85.9 % mayores, con respecto al testigo (Cuadro 2). Alia *et al.* (2005) indicaron que frutos de zapote mamey almacenados a 10 °C por 20 días mostraron un incremento en la velocidad de respiración en 20.9 % con respecto al testigo, y éstos mostraron síntomas moderados de daño por frío. Mohamed y Brecht (2002) observaron un incremento desmedido de la respiración en frutos de mango, una vez transferidos a temperatura ambiente después de almacenarlos por 18 d a 5 °C, lo cual se atribuye a un incremento en la actividad de la ruta alternativa. El almacenamiento por 28 d a 10 °C hizo más evidentes los daños por frío en la respiración (Figura 1; Cuadro 1 y 2).

Los frutos testigo mostraron los valores máximos menores de producción de etileno (Cuadro 2; Figura 1), mientras que los frutos donde se simuló la aplicación de etileno por 24 h y donde se aplicó el etileno en dosis de 100 o 500 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, mostraron valores máximos entre 86 y 347 $\mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

Fruits with 500 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ethephon applications showed lower ethylene production (Table 1), while respiration showed no difference between fruit treated with ethephon at 0, 100 or 500 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ concentrations (Table 2). When applying ethylene gas in 50 and 176 $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ doses to mamey sapote fruit, Saucedo-Veloz *et al.* (2001) detected increased respiration and ethylene production than those fruits where this hormone was not applied. Díaz-Pérez *et al.* (1997) reported that mamey sapote immersion at different ethephon concentrations (between 500 and 1,000 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) improved and uniform fruit ripening. These results are different from those observed in the present study, where there was little effect of ethephon application on the respiration rate. In papaya, ethrel application did not affect ethylene production or respiration during ripening, although maturation improved (Sañudo *et al.*, 2008). This probably indicates that ethephon doses were not sufficient to cause an effect on the physiology and biochemistry of mamey sapote ripening.

The evaluation day significantly affected the respiration rate and ethylene production. It was observed that the fruits stored 0 and 7 days showed lower respiration values, followed by fruit stored during 14 and 21 days, and lastly the fruits stored during 28 days (Table 1, Figure 1). The

$1 \cdot h^{-1}$ (Cuadro 2). Esto sugiere que el mantener los frutos de zapote mamey en recipientes cubiertos por periodos de 24 h es suficiente para estimular una mayor producción de etileno y que las dosis evaluadas de etefón no fueron suficientes para acelerar la producción de zapote mamey. La producción de etileno fue significativamente menor en los frutos almacenados por 21 d (Cuadro 1). Alia *et al.* (2005) indica que frutos de zapote mamey almacenados por 20 días a $10^{\circ}C$, mostraron incremento significativo en la producción de etileno, lo que se considera un síntoma del daño por frío. En el presente trabajo los frutos almacenados por 28 días mostraron los valores mayores de producción de etileno, lo que indica que ese periodo de almacenamiento fue el que promovió la mayor síntesis de etileno.

Pérdida de peso

Se detectaron diferencias significativas por efecto del tiempo de almacenamiento y el día de evaluación (Cuadro 2). La pérdida de peso se incrementó conforme el tiempo de almacenamiento fue mayor. Los frutos almacenados por 7, 14, 21 o 28 días tuvieron 22, 58, 125 y 136 % de pérdida mayor de peso comparados con los frutos testigo (Cuadro 2). Alia *et al.* (2005) y Gómez *et al.* (2009) indican que durante el almacenamiento a temperaturas bajas (menores de $15^{\circ}C$) por periodos entre 7 y 21 días, la pérdida de peso se incrementó entre 10 y 15 % en frutos de zapote mamey provenientes de Morelos y Guerrero. La pérdida de peso en frutos cosechados se atribuye principalmente a la transpiración, y la velocidad se debe al déficit de presión de vapor en donde se almacena el fruto, además de aspectos como la proporción superficie/volumen de fruto, estructura de cutícula o grado de suberización, especie o variedad (Díaz-Pérez *et al.*, 2000; Valero y Serrano, 2010).

Una vez transferidos los frutos a temperatura ambiente, incrementaron su pérdida de peso (Cuadro 2). La pérdida de peso fue mayor ocho días después de salir del almacenamiento.

Las dosis de etefón aplicadas no afectaron la pérdida de peso y no se detectaron interacciones entre los factores evaluados (Cuadro 2), lo cual es similar a lo reportado por Saucedo-Veloz *et al.* (2001), quienes determinaron que aplicaciones de gas etileno a frutos de zapote mamey a $20^{\circ}C$ no afectaron la pérdida de peso durante su maduración.

Sólidos solubles totales (SST)

Los sólidos solubles totales fueron mayores en los frutos donde no se aplicó etileno comparado con los frutos donde se aplicaron 100 o $500 \mu L \cdot L^{-1}$ (Cuadro 2). Saucedo-Veloz *et al.* (2001) reportan que al aplicar $176 \mu L \cdot L^{-1}$ de gas etileno a frutos de zapote mamey se incrementó significativamente el contenido de azúcares totales.

Los sólidos solubles totales se incrementaron al aumentar los días de almacenamiento y los días de evaluación. Los frutos almacenados entre 7 y 14 d mostraron valores mayores al testigo (Cuadro 2). Por otra parte, los SST se incrementaron significativamente al cuarto y octa-

respiration mean values were 13.2, 28.2 and 85.9 % higher compared with the control (Table 2). Alia *et al.* (2005) showed that mamey sapote fruit stored at $10^{\circ}C$ during 20 days had a 20.9 % increase in respiration rate compared to the control, and showed moderate symptoms of chilling injury. Mohamed and Brecht (2002) observed a disproportionate increase of respiration in mango fruits, once transferred to room temperature after 18 d storage at $5^{\circ}C$, which is attributed to an increase in the activity of the alternative pathway. Storage during 28 d at $10^{\circ}C$ made more obvious the chilling injury response in respiration (Figure 1; Table 1 and 2).

The control fruits showed the peak lower values of ethylene production (Table 2, Figure 1), while the fruits that simulated the ethylene application during 24 h and those where ethylene was applied in 100 or $500 mg \cdot L^{-1}$ doses, showed maximum values between 86 and $347 \mu L \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ (Table 2). This suggests that keeping mamey sapote fruit in covered containers during 24 h periods is enough to stimulate ethylene production and high ethephon doses were not enough to accelerate the mamey sapote production. Ethylene production was significantly lower in fruit stored during 21 days (Table 1). Alia *et al.* (2005) reported that mamey sapote fruit stored during 20 days at $10^{\circ}C$ showed significant increase in the ethylene production, which is considered a chilling injury sign. In this work, the fruits stored during 28 days showed higher ethylene production values, indicating that this storage period was promoting higher ethylene synthesis.

Weight loss

Significant differences by the effect of storage time and day of evaluation were detected (Table 2). Weight loss increased as the storage time was longer. Fruits stored during 7, 14, 21 or 28 days had 22, 58, 125 and 136 % higher weight loss compared with the control fruits (Table 2). Alia *et al.* (2005) and Gómez *et al.* (2009) reported that during storage at low temperatures (under $15^{\circ}C$) and periods between 7 and 21 days, weight loss increased from 10 to 15 % in mamey sapote fruit from Morelos and Guerrero. The weight loss in harvested fruits is attributed mainly to respiration, and the rate is due to the vapor pressure deficit where the fruit is stored, as well as the fruit surface/ volume ratio, fruit cuticle structure or suberization degree, species or variety (Díaz-Pérez *et al.*, 2000, Valero and Serrano, 2010).

The fruit increased its weight loss after transfer them at room temperature (Table 2). After eight storage days the weight loss was even higher when taken them out.

Ethephon applied doses did not affect weight loss and no interactions were found between the factors evaluated (Table 2), which is similar to Saucedo-Veloz *et al.* (2001) reports, who determined that ethylene gas applications to mamey sapote fruit at $20^{\circ}C$ did not affect weight loss during ripening.

Total soluble solids (TSS)

Total soluble solids were higher in fruits where no ethylene was applied compared to the fruits with 100 or 500

vo día de evaluación (Cuadro 2). Díaz-Pérez *et al.* (2003) indicaron que después de la cosecha los SST en los frutos de zapote mamey se incrementan constantemente, que se requieren de 28 días para madurar a una temperatura de 10 °C. Los SST se incrementan durante el almacenamiento entre 10 y 15 °C, y una vez transferidos a temperaturas mayores para su maduración pueden alcanzar valores normales en este fruto (Gómez *et al.*, 2009; Téllez *et al.*, 2009).

Daños por frío

El daño por frío se observó en los frutos almacenados por más de 14 días. Los frutos almacenados por 28 días mostraron los porcentajes mayores de este fenómeno (Cuadro 2). Díaz-Pérez *et al.* (2003) mencionan que el almacenamiento en frutos de zapote mamey en madurez fisiológica provoca síntomas de daño por frío. Téllez *et al.* (2009) y Gómez *et al.* (2009) reportan afectación de los frutos por daño por frío cuando los frutos de zapote mamey se almacenaron por más de 18 o 21 días a 10 °C. Los síntomas del daño por frío en zapote mamey son más evidentes una vez que son transferidos a temperatura ambiente (Alia *et al.*, 2005). En el presente trabajo los frutos evaluados a los cuatro y ocho días mostraron los mayores valores en porcentajes de daño por frío (Cuadro 2). No se detectó efecto de la aplicación de etileno en la respuesta al daño por frío (Cuadro 2).

Componentes del color (luminosidad [L*], cromaticidad [C*] y matiz [H*])

La luminosidad fue significativamente menor en los frutos donde se aplicaron 500 mg·L⁻¹ de etefón (Cuadro 4). La luminosidad de los frutos de zapote mamey disminuyó significativamente después del almacenamiento por 14 días a 10 °C, sugiriendo que el fruto continuó el proceso de maduración a esa temperatura; este comportamiento se detectó aún después de 21 días (Cuadro 4). Hernández-Molina *et al.* (2008) reportaron que la luminosidad de los frutos disminuye durante la maduración de L* = 47.6 a 32.8, debido principalmente al oscurecimiento de la pulpa. Por otro lado, Gaona-García *et al.* (2008) encontraron frutos con valores mínimos y máximos de L* = 33.5 y 67.3, respectivamente.

El matiz disminuyó conforme se incrementó la dosis de aplicación de etefón (Cuadro 4). Esto sugiere que las dosis altas permitieron a los frutos acercarse a su color de pulpa característico, al pasar de un tono rosa-salmón a rojo-escarlata. Sin embargo, los frutos almacenados por más de 14 días a baja temperatura mostraron los valores mayores de matiz. Esto muestra que no desarrollaron el color característico de los frutos de zapote mamey, probablemente por efecto del daño por frío. Alia-Tejagal *et al.* (2002) indican que la acumulación de carotenoides totales en frutos de zapote mamey fue menor cuando se almacenaron a 5 y 10 °C por 14 días. Los carotenoides, principalmente luteína, β-caroteno y sapotexantina, son los pigmentos que proporcionan el color característico de la pulpa del zapote mamey (Yahia *et al.*

2001) applications (Table 2). Saucedo-Veloz *et al.* (2001) reported that applying 176 μL·L⁻¹ of ethylene gas to mamey sapote fruit, the total sugar content increased significantly.

Total soluble solids increased with increasing storage and evaluation days. Fruits stored between 7 and 14 days showed higher values than the control (Table 2). On the other hand, the TSS increased significantly the fourth and eighth evaluation day (Table 2). Díaz-Pérez *et al.* (2003) reported that after harvest, the TSS in mamey sapote fruit constantly increases, and that 28 days are required to mature at 10 °C. The TSS increase during storage between 10 and 15 °C, and once transferred to higher temperatures for ripening they can reach normal values in this fruit (Gómez *et al.*, 2009; Téllez *et al.*, 2009).

Chilling injury

Chilling injury was observed in fruits stored more than 14 days. Fruits stored during 28 days showed the highest percentages of this phenomenon (Table 2). Díaz-Pérez *et al.* (2003) reported that mamey sapote fruit storage in physiological maturity causes chilling injury symptoms. Téllez *et al.* (2009) and Gómez *et al.* (2009) reported chilling injury when mamey sapote fruits were stored more than 18 or 21 days at 10 °C. Chilling injury symptoms in mamey sapote are more evident once they are transferred to room temperature (Alia *et al.*, 2005). In this work, the fruits evaluated at four and eight days showed the highest percentages of chilling injury (Table 2). There was no effect of the ethylene application in response to chilling injury (Table 2).

Color components (luminosity [L*], chromaticity [C*] and hue [H*])

The luminosity was significantly lower in the fruits where 500 mg·L⁻¹ of ethephon were applied (Table 4). The mamey sapote fruit luminosity decreased significantly after 14 days storage at 10 °C, suggesting that the fruit ripening process continued at that temperature; this behavior was detected even after 21 d (Table 4). Hernández-Molina *et al.* (2008) reported that the luminosity of the fruit decreases during ripening L* = 47.6 to 32.8, mainly due to the pulp darkening. Furthermore, Gaona-García *et al.* (2008) found fruit with minimum and maximum L* = 33.5 and 67.3 values, respectively.

Hue decreased with increased ethephon applications (Table 4). This suggests that high doses allowed the fruits approach to their distinctive flesh color, from a pink-salmon to scarlet-red. However, fruits stored for over 14 d at low temperature exhibited higher hue values. This shows that the characteristic color of the mamey sapote fruits did not develop probably because of the chilling effect. Alia-Tejagal *et al.* (2002) reported that the total carotenoids accumulation in mamey sapote fruit was lower than when stored at 5 and 10 °C during 14 days. Carotenoids, especially lutein, β-carotene and sapotexanthin are the pigments that give the characteristic color to the mamey sapote flesh (Yahia

CUADRO 3. Cambios en la pérdida de peso, contenido de sólidos solubles totales (SST) y daño por frío en frutos de zapote mamey tratados con diferentes dosis de etefón y, almacenados a $10 \pm 1^\circ\text{C}$ por diferentes periodos y madurados a temperatura ambiente ($24 \pm 1^\circ\text{C}$).

TABLE 3. Changes in weight loss, total soluble solids (TSS) and chilling injury in mamey sapote fruit treated with different ethephon doses and stored at $10 \pm 1^\circ\text{C}$ during different periods and ripened at room temperature ($24 \pm 1^\circ\text{C}$).

	Pérdida de peso/ Weight Loss (%)	SST ($^\circ\text{Brix}$)	Daño por frío / Chilling injury (%)
Dosis de etefón (DET) $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ / Ethepon doses (ETD) mg L^{-1}			
0	12.0 a	15.2 a ^z	2.3 a
100	11.3 a	14.0 b	2.3 a
500	11.4 a	14.7 ab	2.4 a
DMSH/HSD	0.9	0.9	0.2
C.V.	47.4	19.3	28.4
Días de almacenamiento (DA) /Storage Days (SD)			
0	6.8 d	13.6 b	0.0 c
7	8.3 c	14.4 ab	0.0 c
14	10.8 b	15.2 a	3.0 b
21	15.3 a	15.2 a	3.2 ab
28	16.1 a	14.8 ab	3.4 a
DMSH/HSD	1.3	1.4	0.3
Días de evaluación (DEV)/ Evaluation Days (EVD)			
0	4.9 c	8.4 c	2.0 b
4	11.5 b	16.6 b	2.5 a
8	17.3 a	18.9 a	2.5 a
DMSH/HSD	0.7	0.9	0.2
DET* DEV/ ETD* EVD	NS	NS	NS
DET * DA/ ETD * SD	NS	***	*
DEV * DA/ EVD* SD	NS	***	**
DET * DEV* DA/ ETD * EVD* SD	NS	NS	**

^z: Medias con letras diferentes dentro de cada factor (DET, DA y DEV) en el sentido de las columnas indican igualdad de acuerdo con la prueba de Tukey a 0.05. Daño por frío (%) 0 = 0 % de daño, 1 = De 1 hasta 5 % de daño, 2 = De 6 hasta 15 % de daño, 3 = De 16 hasta 25 % de daño. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. CV: Coeficiente de Variación.

^z: Means with different letters within each factor (ETD, SD and EVD) in the columns indicate equality according to the Tukey test at 0.05; Chilling injury (%) 0 = 0% damage, 1 = from 1 to 5% damage, 2 = 6 to 15% damage, 3 = 16 to 25% damage. HSD: Honestly significant difference. CV: Coefficient of variation.

et al., 2011; Murillo *et al.*, 2011). Es necesario realizar estudios para determinar el efecto de las bajas temperaturas en estos pigmentos. Las evaluaciones de los frutos de zapote mamey a los 4 y 8 días mostraron valores menores del matiz. Esto debido a que, una vez transferidos a temperatura ambiente, los frutos maduraron y alcanzaron mayor cercanía al color rojo, probablemente por mayor síntesis y acumulación de carotenoides (Alia-Tejagal *et al.*, 2002).

La cromaticidad fue mayor en los frutos cuando se aplicaron $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de etefón, respecto de los frutos donde se aplicaron sólo $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, lo que significa una mayor pureza de color (Cuadro 3).

La cromaticidad disminuyó desde el inicio hasta los 21 días de almacenamiento, y después de 28 días de almacenamiento se observó el valor mayor de cromaticidad

et al., 2011; Murillo *et al.*, 2011). Studies are needed to determine the low temperatures effect on these pigments. Mamey sapote fruit evaluations at 4 and 8 d showed lower hue values. This is because, once they were transferred to room temperature, the fruits matured and were closer to red color, probably because of the increased synthesis and carotenoids accumulation (Alia-Tejagal *et al.*, 2002).

Chromaticity was higher in fruits when ethephon at $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ was applied, in comparison to the fruits treated with only $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, which means a higher color purity (Table 3).

Chromaticity decreased from beginning up to 21 storage days, and after 28 storage days the highest chromaticity value was observed (Table 4). The fruits did not follow a normal maturation pattern due to chilling injury (Table 3). It

CUADRO 4. Cambios en los parámetros del color en la pulpa de frutos de zapote mamey tratados con etefón por 24 h, almacenados por diferentes periodos (0, 7, 14, 21, 28 d) y madurados por 8 días a temperatura ambiente ($24 \pm 1^\circ\text{C}$).

TABLE 4. Changes in color parameters in the pulp of mamey sapote fruits treated with ethephon during 24 h, different storage periods (0, 7, 14, 21, 28 days) and ripened during 8 days at room temperature ($24 \pm 1^\circ\text{C}$).

Factor	Luminosidad / Luminosity	Matiz / Hue	Cromaticidad / Chromaticity
Dosis de etefón DET / Ethepon doses (ETD) mg L ⁻¹			
0	58.8 a ^z	52.2 ab	49.7 a
100	59.1 a	52.8 a	48.7 b
500	57.6 b	51.8 b	50.4 a
DMSH/HSD	1.0	0.8	0.9
C.V.	5.5	4.6	5.4
Días de almacenamiento (DA)/ Storage Days (SD)			
0	61.4 a	51.0 d	49.8 b
7	60.7 a	52.7 b	50.6 b
14	55.8 c	51.3 cd	43.4c
21	57.9 b	54.1 a	44.5 c
28	56.9 bc	52.3 bc	59.7 a
DMSH/HSD	1.6	1.2	1.3
Días de evaluación DEV/Evaluation Days (EVD)			
0	62.9 a	55.7 a	54.5 a
4	56.9 b	50.4 b	49.7 b
8	55.8 c	50.8 b	44.6 c
DMSH/HSD	1.0	0.8	0.9
DET* DEV/ETD*EVD	NS	NS	NS
DET * DEV/ETD*EVD	*	**	NS
DEV * DEV/ETD*EVD	***	***	***
DET * DEV* DA/ETD*EVD*SD	NS	*	NS

^z: Medias con letras diferentes dentro de cada factor (DET, DA y DEV) en el sentido de las columnas indican igualdad de acuerdo con la prueba de Tukey a 0.05. DMSH:Diferencia mínima significativa honesta. CV: Coeficiente de variación.

^z: Means with different letters within each factor (ETD, SD and EVD) in the columns indicate equality according to the Tukey test at 0.05. HSD: Honetly significant difference. CV: Coefficient of variation.

(Cuadro 4). Los frutos no siguieron un patrón normal de maduración debido al daño por frío (Cuadro 3). Se ha observado que la cromaticidad disminuye durante la maduración, lo que ha sido descrito anteriormente por Díaz-Pérez *et al.* (2000).

has been observed that the chromaticity decreased during maturation, which has been previously described by Díaz-Pérez *et al.* (2000).

CONCLUSIONES

La aplicación de etefón en frutos de zapote mamey no acelera la producción de etileno y la velocidad de respiración, y no afecta la pérdida de peso, aunque incrementa el contenido de sólidos solubles totales y mejora el color.

El frío provoca un incremento en la velocidad de respiración a partir de los 14 días de almacenamiento y ocasiona un daño severo después de 28 días de almacenamiento.

CONCLUSIONS

Ethephon application in mamey sapote fruit does not accelerate the ethylene production and respiration rate, and does not affect weight loss, but increases the total soluble solids content and improves color.

The cold causes an increase in the respiration rate after 14 storage days, and causes severe damage after 28 storage days.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo del CONACYT por otorgar el apoyo de beca para realizar los estudios de maestría del primer autor, así como el apoyo parcial para la publicación del trabajo a SEP-PROMEP mediante la Red "Ciencia y Tecnología Pre y Postcosecha"

LITERATURA CITADA

- ALIA-TEJACAL, I.; COLINAS-LEÓN, M. T.; MARTÍNEZ-DAMIÁN, M. T.; SOTO-HERNÁNDEZ, M. R. 2002 Factores Fisiológicos, Bioquímicos y de Calidad en frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* Jacq. & Stearn) durante postcosecha, Revista Chapingo Serie Horticultura 8: 263-271.
- ALIA T., I.; COLINAS-LEÓN, M. T.; MARTÍNEZ-DAMIÁN, M. T.; SOTO-HERNÁNDEZ, M. R. 2005. Daños por frío en zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn]. I. Cambios en volátiles, firmeza y azúcares totales. Revista Chapingo Serie Horticultura 28: 17- 24.
- ALIA-TEJACAL, I.; BAUTISTA, B. S.; VILLANUEVA, A. R.; PELAYO Z. C.; COLINAS-LEÓN, M. T.; LÓPEZ M. V. 2007. Postharvest physiology and technology of sapote mamey fruit [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn]. Postharvest Biology and Technology 45: 285-297.
- ANÓNIMO. 1998. SAS User's guide: Statics. Version 6.12. SAS Institute, Cary, N. C. 1848 p.
- ANÓNIMO. 2012. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA. En línea: www.siap.gob.mx. Fecha de consulta: 10 de Octubre de 2012.
- ARENAS, O. M. L.; S. EVANGELISTA L.; R ARANA, E.; A. JIMÉNEZ A.; G DÁVILA O. 2003. Softening and biochemical changes of sapote mamey fruit (*Pouteria sapota*) at different development and ripening stages. Journal of Food Biochemistry 27: 91-107. doi: 10.1111/j.1745-4514.2003.tb00269.X
- BALERDI, C. F.; SHAW, P. E. 1998. Sapodilla, sapote and related fruit. In: Tropical and Subtropical Fruits. AgScience. Florida, USA. p 78-136
- BAUTISTA-BAÑOS, S.; DÍAZ-PÉREZ, J. C.; VILLANUEVA-ARCE, R. 2005. Sapote mamey: postharvest behaviour and storage of a valuable tropical fruit. In: Fruits: growth and quality. RAMDANE, D. (ed.). WFL Publisher. pp: 25-32
- BAYUELO, J. J. S.; OCHOA, I. 2006. Caracterización morfológica de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn] del centro occidente de Michoacán, México. Revista Fitotecnia Mexicana 29: 9-17.
- BAYUELO, J. J. S.; N. RIVERA, A.; I. OCHOA. 2007. Sapote mamey: [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn]: A potential fruit crop for subtropical regions of Michoacan, Mexico. Canadian Journal of Plant Science 87: 537-544.
- DÍAZ-PÉREZ, J. C.; S. BAUTISTA; M. ARENAS; S. EVANGELISTA; R. ARCE. 1997. Response of sapote mamey *Pouteria sapota* fruits to postharvest exogenous ethylene applications. HortScience 32: 496.
- 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.

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks to CONACYT for the first author master studies scholarship, and for the partial support for this publication to SEP-PROMEP through "Science and Technology Pre- and Post-harvest" network.

End of English Version

- DÍAZ-PÉREZ, J. C.; S. BAUTISTA; R. VILLANUEVA; R. LÓPEZ-GÓMEZ. 2003. Modeling the ripening of sapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn] fruit at various temperatures. Postharvest Biology and Technology 28: 199-202.
- DOMÍNGUEZ, B.; MARTÍNEZ-MORALES, A.; ALIA-TEJACAL, I. 2010. Caracterización de la maduración en ecotipos de zapote mamey (*Pouteria sapota*). Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha 11: 122-129.
- ERGUN, M.; SARGENT, S. A.; FOX, A. J.; CRANE, J. H.; HUBER, D. J. 2005. Ripening and quality responses of mamey sapote fruit to postharvest wax and 1-methylcyclopropene treatments. Postharvest Biology and Technology 36: 127-134.
- ESPINOS, Z. S.; SAUCEDO, V. C.; VILLEGAS, M. A.; IBARRA, E. M. E. 2005. Caracterización de frutos de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn] en Guerrero, México. Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture 49: 135-138.
- ESPINOSA, Z. S.; VILLARREAL, F. J. M.; VILLEGAS, M. A.; MORA, A. A.; RUÍZ, B. C. 2009. El zapote mamey. In: Frutas del Trópico. Coss, F. M. E; RUÍZ, B. C; MORENO, M. J. L; CABRERA, A. M. E; DÍAZ, V. V. M; PÉREZ, Q. N; & PINSON, R. E. P. Universidad Autónoma de Chiapas. p. 378.
- GAONA-GARCÍA, A.; ALIA-TEJACAL, I.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, V.; ANDRADE-RODRÍGUEZ, M.; COLINAS-LEÓN, M. T.; VILLEGAS-TORRES, O. 2008. Caracterización de frutos mamey (*Pouteria sapota*), en la Región Suroeste del Estado de Morelos. Revista Chapingo Serie Horticultura 14: 41-47.
- GÓMEZ, J. R.; NIETO, A. D.; TELIZ, O. D.; MORA, A. A.; MARTÍNEZ-DAMIÁN, M. T.; VARGAS H. M. 2009. Evaluación de la calidad e incidencia de hongos en frutos refrigerados de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn). Agrociencia. 43: 37-48.
- HERNÁNDEZ-MOLINA, M.; MARTÍNEZ-MORALES, A.; ALIA-TEJACAL, I.; HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, L. U.; OSORIO-OSORIO, R.; COLINAS-LEÓN, M. T.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, V.; BAUTISTA-BAÑOS, S.; VALLE-GUADARRAMA, S. 2008. Estrés por Impacto en Frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota*) durante el manejo postcosecha. Revista Fitotecnia Mexicana 31: 61-66.
- KADER, A. A. 2002. Postharvest biology and technology: an overview. In: Kader, A. A. (Ed.), Postharvest Technology of Horticultural Crops. University of California, Oakland. Publication 3311. pp. 39-47.
- LADANIYA, M. S. 2008. Citrus Fruits. Biology, technology and evaluation. Elsevier-Academic Press. USA. 558 p.
- MANZANO, E. J. 2001. Caracterización de algunos parámetros de calidad en frutos de zapote mamey (*Calocarpum sapota* (Jacq.) Merr. en diferentes condiciones de almacenamien-

- to. Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture 43: 53-56.
- MARTÍNEZ, M. A.; ALIA-TEJACAL, I.; COLINAS-LEON, M. T. 2006. Refrigeración de frutos de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn] cosechados en diferentes épocas en Tabasco, México. Revista Fitotecnia Mexicana 29: 51-57
- MARTÍNEZ-MORALES, A.; ALIA-TEJACAL, I.; VALLE-GUADARRAMA, S.; COLINAS-LEÓN, M. T.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, V.; BAUTISTA-BAÑOS, S.; ANDRADE-RODRÍGUEZ, M.; VILLEGAS-TORRES, O. G.; GUILLÉN-SÁNCHEZ, D. 2008. Comportamiento de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota*) en atmósferas con bajo O₂ y moderado CO₂. Revista Fitotecnia Mexicana 31: 53-59.
- MOHAMED, M.; J.K. BRECHT. 2002. Reduction of chilling injury in 'Tommy Atkins' mangoes during ripening. Scientia Horticulturae 95: 297-308.
- MURILLO, E.; R. MCLEAN; G. BRITTON, A. AGÓCS; V. NAGY; J. DELI. 2011. Sapothexantina, an a-provitamin carotenoid from red mamey (*Pouteria sapota*). Journal of Natural Products 74: 283-285. doi: 10.102/npl006982
- NAIR, S.; Z. SINGH. 2003. Pre-storage dip reduces chilling injury, enhances respiration rate, ethylene production and improves fruit quality of 'Kensington' mango. Food Agriculture & Environment 1: 93-97.
- PACHUQUEÑO, C. E.; I. ALIA, T., G. A. PÉREZ A.; M. ANDRADE, R., S. BAUTISTA B., A. MARTÍNEZ, M., J. M. VILLARREAL, F., J. N. PERÉZ Q. 2010. Atmósferas modificadas y refrigeración en frutos de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn]. Ingeniería Agrícola y Biosistemas 2: 21-27. doi: 10.5154/r.inagbi.2010.02.002
- PENNINGTON, D. T.; J. SARUKHÁN. 2005. Árboles tropicales de México. Manual para la Identificación de las Principales Especies. 3a. ed. Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 523 p.
- PESIS, E.; M. ACKERMAN; R. BEN-ARIE; O. FEYGENBERG; X. FENG; A. APELBAUM; R. GOREN; D. PRUSKY. 2002. Ethylene involvement in chilling injury symptoms of avocado during cold storage. Postharvest Biology and Technology 24: 171-181.
- RAMOS-RAMÍREZ, F. X.; ALIA-TEJACAL, I. LÓPEZ-MARTÍNEZ, V.; COLINAS-LEÓN M. T.; ACOSTA-DURAN, C. M.; TAPIA-DELGADO, A.; VILLEGAS-TORRES, O. 2009. Almacenamiento de Frutos de Zapote Mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn] en Atmósfera Modificada. Revista Chapingo Serie Horticultura 15: 17-23.
- REID, S. M. 2002. Ethylene in postharvest technology. In: KADER, A. A. (Ed.), Postharvest Technology of Horticultural Crops. University of California, Oakland. Publication 3311. pp. 149-162.
- SAUCEDO-VELOZ, C.; MARTÍNEZ-MORALES, A.; CHÁVEZ-FRANCO, S. H.; SOTO-HERNÁNDEZ R. M. 2001. Maduración de Frutos de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) h. E. Moore & Stearn] tratados con etileno. Revista Fitotecnia Mexicana 24: 231-234.
- SAÑUDO, B. J. A.; J. SILLER, C.; T. OSUNA, E.; D. MUY, R.; G. LÓPEZ, Á.; J. LABAVITCH. 2008. Control de la maduración en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) con 1-Metilciclopropeno y ácido 2-cloroetil fosfónico. Revista Fitotecnia Mexicana 31: 141-147.
- SHEWELT, L.R. 2003. Color. In: Postharvest Physiology and Pathology of vegetables. BARTZ, A.J.; J.K. BRECHT (Eds.) Marcel Dekker, New York. pp: 287-296.
- TÉLLEZ, P. P.; SAUCEDO-VELOZ, C.; ARÉVALO, G.; VALLE-GUADARRAMA, S. 2009. Maduración de frutos de mamey (*Pouteria sapota* Jacq.) tratados con 1-Metilciclopropeno y refrigeración. CyTA Journal of Food 7: 45-51. doi: 10.1080/11358120902850750
- TORAL, J. J. O. 1998. El cultivo de mamey (*Colocarpum sapota*). Escuela Nacional de Fruticultura. Xalapa, Veracruz, México, D. F. 40 p.
- VALERO, D.; M. SERRANO. 2010. Postharvest Biology and Technology for Preserving Fruit Quality. CRC Press-Taylor & Francis Group. USA. 269 p.
- VILLANUEVA, A. R.; EVANGELISTA, L. S.; ARENAS, O. M.; DÍAZ-PÉREZ, J. C.; BAUTISTA, B. 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: 63-72
- WATKINS, C. B. 2002. Ethylene synthesis, mode action, consequences and control. In: Fruit Quality and its Biological Basis. KNEE, M. (ed.). CRC Press. Sheffield, UK. pp: 180-224.
- WILLS, R. B. H. 2005. Minimizing the harmful effects of ethylene on the quality of fruits and vegetables. In: Environmentally Friendly Technologies for Agricultural Produce Quality. BEN-YESHOUA, S. (ed.). CRC Taylor & Francis. Boca Raton, Florida, USA. pp: 133-148.
- WILLS, R. B. McGLASSON, D. GRAHAM, D. JOYCE. 2007. Postharvest. An Introduction to the Physiology and Handling of Fruit, Vegetables and Ornamentals. UNSW Press-CABI. Australia. 227 p.
- YAHÍA, M.A.; F. GUTIÉRREZ-OROZCO; C. ARVIZU-DE LEÓN. 2011. Phytochemical and antioxidant characterization of sapote mamey (*Pouteria sapota* Jacq. H. E. Moore & Stearn) fruit. Food Research International 44: 2175-2181. doi:10.1016/j.foodres.2010.11.029