

MANEJO POSTCOSECHA DE ZAPOTE MAMEY (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn) Y SU IMPACTO EN LA CALIDAD DE LA FRUTA

Rafael Gómez-Jaimes^{1*}; Daniel Nieto-Ángel¹; Daniel Téliz-Ortíz¹; J. Antonio Mora-Aguilera¹;
Cristian Nava-Díaz¹; María Teresa Martínez-Damián²; Mateo Vargas-Hernández³

¹Fitopatología. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. km. 36.5 Carretera México-Texcoco. C. P. 56230. Montecillo, Estado de México.

²Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. km. 38.5 Carretera México-Texcoco C. P. 56230. Chapingo, Estado de México.

³Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. km. 38.5 Carretera México-Texcoco C. P. 56230. Chapingo, Estado de México.

(*Autor para correspondencia) Correo-e: farrag9@hotmail.com

RESUMEN

En México, la mayoría de los árboles de mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn) tienen una altura mayor a 10 m, lo que dificulta la operación de cosecha, por lo que es frecuente el daño en los frutos. Asimismo, su conservación en distintos empaques causa deterioro en grado diferente. Cinco técnicas postcosecha de fruto se evaluaron para medir su efecto en la calidad durante el almacenamiento: T1, cosechados sin daño alguno, empacados individualmente en cajas de cartón; T2, lanzados desde 10 m de altura, capturados en costal de yute y empacados a granel en caja de plástico; T3, lanzados desde 10 m de altura a un colchón y empacados a granel en caja de plástico; T4, lanzados desde 4 m de altura a suelo húmedo y empacados a granel en caja de plástico; y T5, lanzados desde 10 m de altura, capturados en costal de yute y empacados en un costal de yute. Los frutos se almacenaron a temperatura ambiente (25 ± 1 °C); su calidad se evaluó a 1, 3, 5, 7 y 9 días después de la cosecha (DDC). El tratamiento T1 comparado con T4 y T5 (7 y 9 DDC) registró la mayor firmeza, menor actividad de pectinmetilesterasa y contenido de sólidos solubles totales (°Brix); así como los menores cambios en brillo (L^*) y croma (C). En ángulo de tono (H) se presentaron diferencias a los 9 DDC, donde T1 mostró valores mayores que T5. No hubo diferencias en porcentaje de ácido málico y pérdida de peso entre tratamientos.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: Empaque, frutos, daño mecánico, almacenamiento.

POSTHARVEST HANDLING OF SAPOTE MAMEY (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn) AND ITS IMPACT ON FRUIT QUALITY

ABSTRACT

In Mexico most of sapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn) trees have a length over 10 m, making difficult to harvest their fruits, therefore fruits are often damaged. Fruit preservation in different packaging causes damage to varying degrees. We evaluated five postharvest handling techniques in terms of postharvest fruit quality: T1, fruits harvested without damages, individually packed in carton boxes; T2, fruits dropped from 10 m high, captured in jute sacks, packed in bulk using plastic boxes; T3, fruits dropped from 10 m high on a mattress and packed in bulk using plastic boxes; T4, fruits dropped from 4 m high to moisture soil and packed in bulk using plastic boxes; and T5, fruits dropped from 10 m high, caught and packed in jute sacks. Fruits were stored at room temperature (25 ± 1 °C); fruit quality was evaluated on days 1, 3, 5, 7 and 9 after harvest (DAH). Treatment T1 recorded the highest firmness, the lowest pectin methylesterase activity and total soluble solids content (°Brix); and the lowest changes in lightness (L^*), and chroma (C) in comparison with treatments T4 and T5 (7 and 9 DAH). Differences in hue angle (H) were observed after 9 day (DAH), where treatment T1 showed higher values than T5. Malic acid percent and weight loss did not show significant differences among treatments.

ADDITIONAL KEYWORDS: Packing, fruits, mechanical damage, storage.

INTRODUCCIÓN

El zapote mamey es un árbol frutal tropical originario de las regiones bajas húmedas y calientes de Centro América y sur de México, de donde se difundió al Caribe, América del Sur, Hawai y Filipinas (Rodríguez y Gurdian, 1986). La aceptación de esta fruta en México es limitada frecuentemente por problemas de calidad, maduración, ablandamiento irregular, poco desarrollo del color y pudriciones internas inducidas por hongos y plagas insectiles, por lo que la comercialización se realiza principalmente en el mercado nacional (Díaz-Pérez *et al.*, 2001; Villanueva-Arce *et al.*, 2001).

La pérdida de calidad de la fruta más importante se debe a los golpes que se producen por la manipulación en cosecha y postcosecha (Proulx *et al.*, 2005). Los daños en los frutos estimulan la síntesis de etileno y aceleran la respiración, maduración y senescencia, facilitan la entrada de patógenos por el agrietamiento de la corteza y causan oxidaciones por ruptura celular (abrasiones). Los daños en la pulpa por compresión e impacto deterioran la fruta, disminuyen la vida de anaquel y la calidad para su comercialización (Gil, 2001; Kader, 2002). Las magulladuras constituyen el daño mecánico de postcosecha más común en la mayoría de las frutas, que resulta del impacto y vibración durante el embalaje, transporte y almacenamiento (Zeebroeck *et al.*, 2006).

En la zona de estudio (Alpoyeca, Guerrero, México) la gran mayoría de los árboles son de porte alto, lo que obliga a los cosechadores a subirse a las ramas y de ahí lanzar los frutos al suelo para que una persona los capture con un costal de yute, o bien, éstos se dejan caer directamente al suelo. Cuando los frutos llegan al mercado, frecuentemente presentan su calidad disminuida; sin embargo, debido a que su corteza presenta la misma apariencia durante su desarrollo y hasta la madurez de corte, los daños internos por golpes se detectan sólo hasta que el fruto es abierto.

Díaz-Pérez *et al.* (2000), Bautista-Baños *et al.* (2002), Arenas-Ocampo *et al.* (2003) y Alia-Tejacal *et al.* (2007) realizaron estudios de calidad postcosecha del mamey, donde observaron los cambios ocurridos durante la maduración en firmeza, actividad enzimática de pectinmetilsterasa, color, acidez, sólidos solubles totales y pérdida de peso. Sin embargo, no se ha precisado aún de qué manera es afectada la calidad por los sistemas de cosecha y empaque que comúnmente son utilizados en la producción.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de cinco técnicas de manejo poscosecha de zapote mamey, comúnmente empleadas en la producción, sobre la calidad de fruto durante su almacenamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se colectaron 125 frutos de mamey en huertos comerciales de Alpoyeca, Guerrero, México. Éstos fueron

INTRODUCTION

Sapote mamey is a tropical fruit tree native of the hot and humid lowlands of Central America and Southern Mexico, from where it spread to the Caribbean, South America, Hawaii and Philippines (Rodríguez and Gurdian, 1986). The acceptance of this fruit in Mexico is limited, often due to quality problems, ripening, irregular softening, color development and little internal decay induced by fungi and insect pests, therefore this fruit is mainly sell in domestic markets (Díaz-Pérez *et al.*, 2001; Villanueva-Arce *et al.*, 2001).

The most important fruit quality loss is the damage produced by the manipulation at harvest and postharvest (Proulx *et al.*, 2005). Fruit damages stimulate ethylene synthesis and accelerate respiration, ripening and senescence, facilitate the entry of pathogens by the cracking of the crust and produce oxidation by cell disruption (abrasions). Pulp damages by compression and impact deteriorate the fruit, decrease shelf life and its quality (Gil, 2001; Kader, 2002). Fruit bruising is the most common postharvest mechanical damage, caused by impact and vibration during packing, transport and storage (Zeebroeck *et al.*, 2006).

In the study area (Alpoyeca, Guerrero, México) the great majority of trees are tall, forcing the harvesters to climb on branches and to drop fruits to the ground so a person capture them using a jute sack, or in others cases fruits are dropped directly into the ground. When fruits are in the market, often exhibit diminished quality; however, because its bark has the same appearance during its development and until the maturity time to be cut, internal damages are detected only until the fruit is opened.

Díaz-Pérez *et al.* (2000), Bautista-Baños *et al.* (2002), Arenas-Ocampo *et al.* (2003) and Alia-Tejacal *et al.* (2007) conducted sapote mamey postharvest quality studies, where they observed the changes in firmness during ripening, pectinmethylesterase enzyme activity, color, acidity, total soluble solids and loss weight. However, it has not yet been determined how harvesting systems and packaging commonly used in production affect the quality of the fruit.

The aim of this study was to evaluate the effect of five postharvest handling techniques (commonly used in the production) on quality of sapote mamey fruits during storage.

MATERIALS AND METHODS

A total of 125 sapote mamey fruits were collected from commercial orchards of Alpoyeca, Guerrero, Mexico. Fruits were transported by land (7 hours) to the Laboratory of Postharvest of Colegio de Postgraduados located in Montecillo, Texcoco, Estado de México, where quality assessments were conducted.

Visual indicator on harvest was used in the region, which consisted of removing a portion of shell from the base and apex of the fruit to observe the pink or orange

trasladados vía terrestre (durante 7 horas) al laboratorio de postcosecha del Colegio de Postgraduados, ubicado en Montecillo, Texcoco, Estado de México; donde se realizaron las evaluaciones de calidad.

El indicador visual de cosecha fue el utilizado en la región, el cual consistió en retirar una porción de cáscara de la base y ápice del fruto para observar la coloración rosa o naranja de la pulpa. Los frutos empleados en el presente estudio fueron cosechados de forma manual. Posteriormente se evaluaron cinco técnicas de manejo poscosecha que incluyeron la forma de bajar los frutos del árbol así como la forma de empacarlos, las cuales se describen a continuación.

T1: Frutos cosechados sin golpearse ni recibir daño alguno, empacados individualmente en cajas de cartón. Esta técnica no es empleada por los productores de la zona de estudio y fue considerado como el tratamiento testigo.

T2: Frutos capturados en costal de yute, lanzados desde 10 m de altura a una persona y empacados a granel en una caja de plástico.

T3: Frutos lanzados a un colchón sobre el suelo desde 10 m de altura y empacados a granel en una caja de plástico.

T4: Frutos lanzados al suelo húmedo desde 4 m de altura y empacados a granel en una caja de plástico.

T5: Frutos capturados en costal de yute, lanzados desde 10 m de altura hacia una persona y empacados en un costal de yute (encostalado).

Los frutos se mantuvieron en laboratorio a temperatura ambiente 25 ± 1 °C y se evaluaron a 1, 3, 5, 7 y 9 días después de la cosecha (DDC).

Caracteres evaluados

Se utilizaron cinco frutos por tratamiento en cada fecha de evaluación, a partir de los cuales se evaluó:

Firmeza de la pulpa [Newtons (N)]. Las mediciones se hicieron en la parte ecuatorial del fruto. Se midió con un penetrómetro Chatillon® con puntal cónico de 11 mm de diámetro y 5 mm de altura, con capacidad de 0 a 12 kg.

Actividad de Pectinmetilesterasa (mg de metoxilo·10 g⁻¹). Se midió por el método de Ranganna (1979), para lo cual se homogeneizaron 10 g de pulpa con 40 ml de solución de pectina cítrica (1 %). La mezcla se neutralizó (pH 7.5) con NaOH (0.2 N) y se incubó a 30 °C. La solución se valoró (pH 7.5) con NaOH (0.01 N) cada 10 minutos durante media hora. La actividad de la pectinmetilesterasa (PME) se registró en miligramos de metoxilo desdoblados por gramo de muestra y en los sólidos solubles totales.

Color de la pulpa (L*, C y H). Se midió a través del brillo (L*), croma (C) y ángulo de tono (H) con un colorímetro Hunter Lab®. Los cambios de color se determinaron a través del cálculo de la relación b^*/a^* , para obtener el ángulo de tono ($\arctan b^*/a^*$) y croma $\sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$ (McGuire, 1992).

coloration of the pulp. Fruits used in this study were manually harvested. Later five postharvest handling techniques were evaluated, which included the way to obtain fruits from trees and the way to pack them, these techniques are describe below:

T1: Fruits harvested without any damage, individually packaged in carton boxes. This technique is not used by growers in the study area and was considered as the control treatment.

T2: Fruits captured in a jute sack, thrown from 10 m high to a person and packed in bulk in a plastic box.

T3: Fruits dropped on a mattress, placed on the ground, from 10 m high and packed in bulk in a plastic box.

T4: Fruits dropped on the ground from 4 m high and packed in bulk in a plastic box.

T5: Fruits captured in a jute sack, thrown from 10 m high to a person and packed in a jute sack.

Fruits were kept in the laboratory at room temperature 25 ± 1 °C and were evaluated on day 1, 3, 5, 7 and 9 after harvest (DAH).

Evaluated traits

A total of five fruits per treatment were evaluated in each evaluation date, evaluating the following:

Pulp firmness [Newtons (N)]. Measurements were taken from the equatorial part of the fruit using a Chantillon® penetrometer with conical probe of 11 mm diameter and 5 mm height, with capacity of 0 to 12 kg.

Pectinmethylesterase activity (mg of methoxyl·10 g⁻¹) was obtained by means of the Ranganna method (1979), for which 10 g pulp with 40 ml citrus pectin solution (1 %) were homogenized. The mixture was neutralized (pH 7.5) with NaOH (0.2 N) and incubated at 30 °C. Solution was evaluated (pH 7.5) with NaOH (0.01 N) each 10 minutes during one hour. Pectinmethylesterase activity was recorded in methoxyl milligrams cleaved per grams of sample an in total soluble solids.

Pulp color (L*, C and H) was obtained through brightness (L*), chroma (C) and hue angle (H) using a Hunter Lab® colorimeter. Changes in color were determined through the calculation of the ratio b^*/a^* , to determine the hue angle ($\arctan b^*/a^*$) and chroma $\sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$ (McGuire, 1992).

Titrate acidity (% malic acid) was obtained using the technique of the AOAC (Anonymous, 1984). Twenty grams of pulp were liquefied in 100 mL distilled water. Later, mixture was titrated with NaOH (0.1 N) with final pH of 8.5 to obtain the malic acid percentage.

Total soluble solids (° Brix) were determined with an ATAGO-Pelete Pr-101® digital refractometer (0 to 45 %).

Acidez titulable (% de ácido málico). Se obtuvo por medio de la técnica de la A.O.A.C. (Anónimo, 1984). Se licuaron 20 g de pulpa en 100 mL de agua destilada. Posteriormente la mezcla se tituló con NaOH (0.1 N) con pH final de 8.5 para calcular el porcentaje de ácido málico.

Sólidos solubles totales (°Brix). Se determinaron con refractómetro digital ATAGO- Pelete PR-101® (0 a 45 %).

Pérdida de peso de los frutos. Los frutos se pesaron en una balanza digital y el peso inicial se comparó con el registrado en cada fecha de evaluación y se calculó el porcentaje final de pérdida con la fórmula siguiente:

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100$$

Unidad y diseño experimental

La unidad experimental estuvo compuesta por un fruto. El diseño experimental empleado fue completamente al azar con cinco repeticiones. Se realizaron análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Se utilizó el programa estadístico Statistical Analysis System (Anónimo, 1996).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Firmeza de la pulpa

Los efectos de los tratamientos mostraron diferencias en las evaluaciones realizadas en 7 y 9 días después de la cosecha (Cuadro 1), donde los frutos cosechados del T1 presentaron la mayor firmeza por no haber sufrido golpes, ni magulladuras al momento de la cosecha, ni fricción entre ellos durante el empaque, ya que se evitó el contacto entre frutos, esto provocó menor deterioro y alargó la vida postcosecha (Tung *et al.*, 2001).

Los frutos que sufrieron algún tipo de daño mecánico al ser lanzados después de su cosecha a costal (T2), colchón (T3), y al suelo (T4), y empacados en costal (T5), disminuyeron la firmeza a partir de los siete DDC. Por otra parte, entre los días tres y cinco ocurrió una disminución en la firmeza de más del 80 % en todos los tratamientos. La disminución drástica de la firmeza, tal y como lo mencionaron Alia-Tejacal *et al.* (2007) y Pérez-López *et al.* (2009), es un comportamiento observado en frutos de mamey cuando se mantienen a temperaturas de entre 20 y 27 °C. Dicha disminución se atribuye a varios factores, entre los que se destaca la hidrólisis de almidón, pérdida de agua por transpiración, incremento en la producción de etileno y respiración, y a la degradación de las pectinas de la pared celular de los tejidos de parénquima de la pulpa. A su vez, Arenas-Ocampo *et al.* (2003) mencionaron que la actividad de la enzima β -galactosidasa durante la etapa climatérica del zapote

Fruits weight loss. Fruits were weighed on a digital scale, initial weight was compared with that recorded in each evaluation date, then the final percentage of loss was determined with the following formula:

$$\text{Weight loss (\%)} = \frac{\text{initial weight} - \text{final weight}}{\text{initial weight}} \times 100$$

Experimental design and unit

The experimental unit consisted of one fruit. A complete random design with five repetitions was used. Analysis of variance and comparison tests of Tukey ($P \leq 0.05$) were performed. The Statistical Analysis System (Anonymous, 1996) was used.

RESULTS AND DISCUSSION

Pulp firmness

Treatment effects showed differences in evaluations conducted 7 and 9 days after harvest (Table 1), where fruits harvested from T1 showed the greatest firmness for not having damages, or bruising at the time of harvest, or friction between fruits during the packaging, because this contact is avoided: this caused less deterioration and lengthened the postharvest life (Tung *et al.*, 2001).

Fruits with some mechanical damage for being thrown after harvest into a jute sack (T2), on a mattress (T3), and dropped on the ground (T4), and packed in a jute sack (T5), decreased the firmness from the seventh day after harvest. On the other hand, between day 3 and 5 a decrease in firmness of over 80 % in all treatments was observed. Drastic decrease in firmness as Alia-Tejacal *et al.* (2007) and Pérez-López *et al.* (2009) mentioned is a behavior observed in sapote mamey fruits, when they are maintained at temperatures between 20 and 27 °C. This decrease is attributed to several factors, including hydrolysis of starch, water loss by transpiration, increased ethylene production and respiration, and degradation of cell wall pectins of pulp parenchymal tissue. Arenas-Ocampo *et al.* (2003) mentioned that the enzyme β -galactosidase activity during the climacteric stage of sapote mamey has the highest correlation with pulp softening.

Pectinmethylesterase activity

The general trend of the enzyme was to increase its activity after the storage period. However, the activity was higher in treatments where fruits had more damages. Pectinmethylesterase activity showed significant differences ($P \leq 0.05$) on day seven and nine after harvest. Seven days after harvest, fruits without damages (T1) showed lower pectinmethylesterase activity than those fruits dropped on the ground (T4) and packed in a jute sack (T5). Fruits captured in a jute sack (T2) and dropped on a mattress

CUADRO 1. Efecto del manejo postcosecha del zapote mamey (*Pouteria sapota*) en parámetros de calidad postcosecha.TABLE 1. Postharvest handling effect of sapote mamey (*Pouteria sapota*) on post-harvest quality parameters.

Tratamientos/Treatments	Días después de la cosecha (DDC) a 25 ± 1 °C/ Days after harvest (DAH) at 25 ± 1 °C				
	1	3	5	7	9
Firmeza / Firmness [Newtons (N)]					
T1	41.53 a ^z	37.00 a	5.16 a	2.25 a	1.13 a
T2	39.57 a	32.01 a	5.00 a	1.53 b	0.34 b
T3	38.06 a	38.29 a	2.84 a	0.39 c	0.37 b
T4	38.00 a	39.70 a	0.76 a	0.47 c	0.30 b
T5	37.80 a	39.00 a	4.27 a	0.31 c	0.32 b
DMS	6.11	11.50	5.85	0.71	0.11
C.V. (%)	8.126	16.05	84.01	37.44	11.60
PME (mg de metoxilo / methoxyl·10 g⁻¹)					
T1	8.70 a	11.24 a	11.49 a	11.79 c	11.03 b
T2	9.37 a	12.40 a	11.19 a	12.31 bc	12.52 ab
T3	9.91 a	12.32 a	11.15 a	12.08 bc	14.75 ab
T4	8.84 a	13.90 a	10.33 a	13.73 ab	14.96 a
T5	9.44 a	12.09 a	13.27 a	14.36 a	15.79 a
DMS	3.56	7.68	8.39	1.93	3.88
C.V. (%)	20.33	32.76	38.60	7.94	14.86
Brillo / Brightness (L*)					
T1	56.11 a	56.23 a	41.89 ab	40.75 a	43.83 a
T2	55.91 a	54.36 a	43.43 a	37.18 ab	38.87 ab
T3	55.71 a	54.90 a	43.87 a	40.94 a	36.81 bc
T4	55.97 a	55.93 a	38.55 ab	33.95 b	34.20 bc
T5	55.71 a	57.88 a	36.12 b	33.95 b	32.46 c
DMS	3.36	9.96	7.10	5.66	6.28
C.V. (%)	3.19	9.43	9.20	8.01	8.92
Croma / Crhoma (C)					
T1	34.35 a	32.08 b	37.48 a	35.59 a	35.09 a
T2	33.84 a	36.75 a	31.14 a	34.59 a	34.63 a
T3	33.68 a	33.72 ab	33.58 a	33.11 ab	31.68 ab
T4	33.98 a	32.58 b	34.87 a	29.10 bc	25.63 bc
T5	32.02 a	33.76 ab	31.99 a	26.70 c	23.11 c
DMS	14.00	3.70	7.09	5.0	8.26
C.V. (%)	22.030	5.79	11.09	8.31	14.55
Ángulo de tono / Picht angle (H)					
T1	51.25 a	51.06 a	41.49 a	39.70 a	37.30 a
T2	51.35 a	46.57 a	39.30 a	38.69 a	34.89 ab
T3	51.21 a	48.10 a	36.40 a	35.43 a	36.13 ab
T4	50.87 a	51.78 a	36.35 a	37.99 a	32.32 ab
T5	50.85 a	52.78 a	37.36 a	36.22 a	30.16 b
DMS	18.70	8.61	7.64	6.95	6.37
C.V. (%)	19.34	9.09	10.58	9.77	9.86

^z Medias con la misma letra, dentro de columnas, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.^aMeans with the same letter within columns are equal according to the Tukey test at $P \leq 0.05$.

CUADRO 1. Continuación.

Tratamientos/Treatments	Días después de la cosecha (DDC) a 25 ± 1 °C / Days after harvest (DAH) at 25 ± 1 °C				
	1	3	5	7	9
Acidez / Acidity (% de ácido málico)					
T1	0.42 a ^z	0.35 a	0.33 a	0.30 a	0.29 a
T2	0.42 a	0.36 a	0.36 a	0.33 a	0.32 a
T3	0.43 a	0.41 a	0.39 a	0.33 a	0.32 a
T4	0.43 a	0.30 a	0.29 a	0.36 a	0.35 a
T5	0.42 a	0.35 a	0.32 a	0.38 a	0.39 a
DMS	0.12	0.13	0.14	0.11	0.13
C.V. (%)	15.35	19.22	22.21	17.81	20.85
SST / TSS (°Brix)					
T1	8.98 a	10.46 a	30.90 a	30.78 b	31.80 b
T2	9.02 a	10.46 a	32.34 a	32.64 ab	33.48 ab
T3	8.96 a	10.64 a	31.78 a	34.20 a	34.68 ab
T4	9.00 a	11.48 a	33.28 a	34.82 a	34.20 ab
T5	8.72 a	20.18 b	33.20 a	33.98 a	35.18 a
DMS	3.84	6.84	2.78	2.27	2.93
C.V. (%)	22.74	28.62	4.55	3.61	4.57
Pérdida de peso / Weight loss (%)					
T1	0.00 a	3.00 b	7.60 a	11.20 a	12.16 a
T2	0.00 a	3.88 ab	7.68 a	11.04 a	12.16 a
T3	0.00 a	3.34 ab	8.06 a	11.44 a	12.46 a
T4	0.00 a	4.00 ab	8.20 a	12.52 a	13.66 a
T5	0.00 a	4.10 a	9.04 a	11.52 a	12.62 a
DMS	0.00	1.01	2.01	2.47	2.55
C.V. (%)	0.00	14.65	13.10	11.31	10.72

^z Medias con la misma letra, dentro de columnas, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

*Means with the same letter within columns are equal according to the Tukey test at $P \leq 0.05$.

mamey es la que tiene mayor correlación con el ablandamiento de la pulpa.

Actividad de pectinmetilesterasa

La tendencia general de la actividad de la enzima fue aumentar al transcurrir el periodo de almacenamiento. Sin embargo, fue mayor en aquellos tratamientos que sufrieron mayor daño. La actividad de la PME presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en siete y nueve DDC. A los siete DDC los frutos cosechados sin golpear (T1) presentaron menor actividad de PME que los frutos lanzados al suelo (T4) y empacados en costal (T5). Los frutos capturados en costal (T2) y lanzados sobre un colchón (T3) presentaron la misma actividad enzimática que T1 (Cuadro 1). En la última evaluación (nueve DDC) hubo un comportamiento similar a la ocurrida en siete DDC: los frutos del tratamiento T1 mostraron menor actividad de PME que los frutos de los tratamientos T4 y T5.

(T3) showed the same enzymatic activity than T1 (Table 1). In the last evaluation (nine days after harvest) there was a similar behavior to that observed seven days after harvest: fruits of treatment T1 showed lower pectinmethylesterase activity than those fruits of treatment T4 and T5.

Pectinmethylesterase enzyme is involved in the metabolism of the cell wall of plant cells. In the case of fruits this is related to firmness, maturity and senescence, (Jayani *et al.*, 2005). In the case of mamey it has been reported that the PME activity increases with fruit ripening (Alia-Tejacal *et al.*, 2007). The results of the present study were similar to those obtained by Arenas-Ocampo *et al.* (2003) in sapote mamey fruits harvested at different developing stages, where it was established that the lowest PME enzyme activity occurred in the pre-climacteric state (0-3 days after harvest) and the highest activity in the climacteric peak (5-7 day after

La enzima pectinmetilesterasa está implicada en el metabolismo de la pared celular de las células vegetales. En el caso de frutos, está relacionada con la firmeza, madurez y senescencia (Jayani *et al.*, 2005). Para el caso de mamey se ha reportado que la actividad de la PME se incrementa con la maduración de los frutos (Alia-Tejagal *et al.*, 2007). Los resultados del presente trabajo fueron similares a los obtenidos por Arenas-Ocampo *et al.* (2003) en frutos de mamey cosechados en diferentes etapas de desarrollo, donde se determinó que la menor actividad enzimática de la PME ocurrió en el estado preclimático (0-3 días después de cosecha) y la de mayor actividad en el pico climático e inicio del postclimaterio (5-7 días después de la cosecha). Así, los frutos del T1 tardaron más en entrar a la madurez de consumo y senescencia que aquellos que sufrieron mayor daño (T4 y T5).

Color de la pulpa

La mayor disminución de brillantez (L^*) ocurrió entre los días tres a cinco. La mayor brillantez se conservó en el tratamiento sin daños (T1), el cual fue igualado en el día nueve por T2 (Cuadro 1). En las dos últimas evaluaciones la brillantez de los frutos lanzados al suelo (T4) y empacados en costal (T5) fue menor comparado con los frutos cosechados sin golpear (T1). Estos cambios en el brillo se debieron a que los frutos del T4 y T5 recibieron algún golpe o magulladura. Los daños mecánicos provocados por impactos favorecen el oscurecimiento de pulpa en frutos de mamey, lo cual es atribuido a una alta concentración de fenoles totales y a su interacción con enzimas oxidativas como la polifenol oxidasa y peroxidasa (Hernández *et al.*, 2008), las cuales se incrementan durante el proceso de maduración de este fruto (Alia-Tejagal *et al.*, 2007).

Los cambios mayores en cromaticidad (C) de la pulpa del fruto se observaron en las últimas evaluaciones (Cuadro 1). La severidad de los golpes en la fruta durante la cosecha o empaque influyó en los cambios de C . Hernández *et al.* (2008) reportaron que al dejar caer frutos de mamey a una altura mayor a 1.2 m disminuyó la cromaticidad de los frutos. Otras investigaciones como las de Wills *et al.* (1998), Díaz-Pérez *et al.* (2000) y Tabil y Sokhansanj (2001) indican que los golpes y abrasiones en los frutos producidas durante cosecha producen cambios en coloración de la pulpa, lo cual coincide con los resultados presentes, debido a que los de mayor daño mecánico durante su cosecha y almacenamiento fueron los que tuvieron estadísticamente menor croma.

El ángulo de tono (H) en frutos de mamey indica cambios en el color de la pulpa, el cual va de rosa pálido en madurez fisiológica a naranja o rojo en madurez de consumo (Villanueva *et al.*, 2001; Alia-Tejagal *et al.*, 2007). Los resultados mostraron que el ángulo de tono tuvo un comportamiento similar al de brillantez, aunque sólo se presentaron diferencias por efecto de tratamientos hasta el día nueve donde difirieron T1 y T5 ($P \leq 0.05$). De acuerdo con Díaz-

the harvest). Fruits took longer to reach maturity and senescence than the most damaged fruits (T4 and T5).

Pulp color

The largest decrease in brightness (L^*) occurred between day three and five. The highest brightness occurred in the treatment with not damaged fruits (T1), which was equaled on day nine by treatment T2 (Table 1). In the last two assessments, the brightness of fruit dropped on the ground (T4) and packed in jute sacks (T5) was lower compared with not damaged fruits (T1). These changes in brightness were because fruits of T4 and T5 were dropped being damaged and bruised. Mechanical damage caused by impacts favor the darkening of mamey pulp, which is attributed to a high concentration of total phenols and their interaction with oxidative enzymes such as polyphenol oxidase and peroxidase (Hernández *et al.*, 2008), which increment during the maturity process of this fruit (Alia-Tejagal *et al.*, 2007).

Major changes in chromaticity (C) of fruit pulp were observed in recent assessments (Table 1). The severity of the blows in fruits during harvest or packaging had influence on chromaticity changes. Hernández reported that mamey fruit dropped at a height greater than 1.2 m decreased the chromaticity of fruits. Other studies such as those conducted by Wills *et al.* (1998), Díaz-Pérez *et al.* (2000) and Tabil and Sokhansanj (2001) indicate that blows and abrasions on fruits produced during harvest generate changes in pulp coloration, which coincides with the present results, because fruits with the highest mechanical damage during harvesting and storage were those that statistically had lower chroma.

Hue angle (H) in sapote mamey fruits show changes in the color of the pulp, which varies from light pink in the physiological maturity stage to orange or red at the stage of consumption maturity (Villanueva *et al.*, 2001; Alia-Tejagal *et al.*, 2007). Results showed that huge angle had a behavior similar to brightness, although differences per treatment effect were only observed up to day nine in treatment T1 and T5 ($P \leq 0.05$). According to Díaz-Pérez *et al.* (2000) and Alia-Tejagal *et al.* (2002), H values in sapote mamey tend to decrease with the maturation of fruits. This might suggest that during the last evaluation of T5 fruits were in a more advance maturity stage than fruits of T1.

Acidity and total soluble solids

The acidity was not significantly affected by the harvest treatments (Table 1). Villanueva-Arce *et al.* (2000), Thompson (2003) and Alia-Tejagal *et al.* (2007) mentioned that mamey is a fruit with low acidity content, so little variation during maturation process was observed. Acidity usually decreases during this stage.

Total soluble solids concentration of all treatments significantly increased on the fifth day after harvest, with

Pérez *et al.* (2000) y Alia-Tejacal *et al.* (2002), en zapote mamey los valores de *H* tienden a disminuir con la maduración de los frutos. Esto podría sugerir que en la última evaluación los frutos T5 estaban en un estado de madurez más avanzado que los frutos del T1.

Acidez y sólidos solubles totales

La acidez no fue afectada significativamente por los tratamientos de cosecha (Cuadro 1). Villanueva-Arce *et al.* (2000), Thompson (2003) y Alia-Tejacal *et al.* (2007) mencionaron que el mamey es un fruto con bajo contenido de acidez, por lo que presenta muy poca variación durante el proceso de maduración y generalmente decrece durante esta etapa.

La concentración de sólidos solubles totales de todos los tratamientos se incrementó notablemente al quinto día después de la cosecha, con valores superiores a 30 °Brix (Cuadro 1), ya que en zapote mamey esta concentración se encuentra relacionada directamente con el estado de madurez de los frutos (Ramos-Ramírez *et al.*, 2009). Por otra parte, el estrés mecánico de frutos provocado por rozamientos, heridas, abrasiones o golpes aceleran el deterioro y la maduración, por lo que es posible inferir que los frutos con mayor contenido de SST sufrieron daños mecánicos más severos (Tollner *et al.*, 1993; Tabil y Sokhansanj, 2001).

Pérdida de peso de los frutos

Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos únicamente al tercer día después de la cosecha (Cuadro 1), por lo que no se observó que los daños mecánicos en los frutos hayan influido de manera directa en la pérdida de peso.

DISCUSIÓN

En el presente estudio se observaron asociaciones entre los caracteres evaluados, ya que la firmeza, el brillo y el ángulo de tono disminuyeron drásticamente al pasar de tres a cinco días de almacenamiento, en tanto que los SST y la actividad de PME aumentaron. Dichos cambios fueron más evidentes en aquellos tratamientos en los que los frutos recibieron mayor daño.

Los resultados anteriores pueden ser explicados con reportes que indican que el pico climatérico en frutos de zapote mamey almacenados a 25 °C ocurre entre los días tres y cinco después de la cosecha. Durante este periodo hay cambios drásticos en ablandamiento de la pulpa, color de pulpa y contenido de sólidos solubles totales (Alia-Tejacal *et al.*, 2007). Sin embargo, los frutos de mamey que son sometidos a estrés por daños mecánicos, abrasiones y heridas durante la cosecha y el empaque, incrementan la respiración y se estimulan los genes que inducen la biosíntesis de etileno. Esto provoca que los frutos adelanten su pico climatérico, lo cual contribuye al aumento en el contenido de sólidos solubles totales debido a la conversión de

values above 30 °Brix (Table 1), because in this concentration sapote mamey is directly related to the maturity of the fruit (Ramos-Ramírez *et al.*, 2009). On the other hand, the mechanical stress caused by friction, damages, abrasions or blows accelerate the deterioration and maturation of the fruit, therefore it is possible to infer that fruits with the highest TSS content had more severe mechanical damages (Tollner *et al.*, 1993; Tabil and Sokhansanj, 2001).

Fruit weight loss

Only on the third day after harvest significant differences among treatments were observed (Table 1). Weight loss was not affected by mechanical damages.

DISCUSSION

In this study, we observed associations among the assessed characters, because firmness, brightness and hue angle decreased dramatically from day three to five (storage); on the other hand, TSS and PME activity increased. These changes were more evident in those treatments where fruits were more damaged.

Those results can be explained with reports that indicate that the climacteric peak in sapote mamey fruits stored at 25 °C occurs between the third and fifth day after harvest. During this period there are drastic changes in pulp softening, pulp color and total soluble solids content (Alia-Tejacal *et al.*, 2007). However, mamey fruits that are under stress from mechanical injuries, abrasions and bruising during harvesting and packing, increase respiration and stimulate genes that induce ethylene biosynthesis. This provokes that fruit further their climacteric peak, contributing to an increase in total soluble solid content due to the conversion of starch into sugars, decrease in brightness, chroma and hue angle by an increase in carotenoid biosynthesis and polyphenol oxidase and peroxidase phenol enzymes activity, and pulp softening due to the hydrolysis of the cell wall by the enzymatic activity of pectinmethylesterases, polygalacturonases, cellulases, pectate lyases and galactosidases (Nath *et al.*, 2006; Hernández *et al.*, 2008; Toivonen and Brummell, 2008; Pérez-López *et al.*, 2009).

CONCLUSIONS

Fruits without damages and packed in boxes had the lowest deterioration and therefore the greatest shelf life.

Fruit deterioration was associated with the blow degree at the moment of getting fruits from trees, and with the friction occurred during packing. Dropping fruits on the ground and packing them in bulk provoked the highest deterioration of fruits.

The greatest damage of fruit occurred between day 3 and 5 of storage because firmness, brightness and hue angle decreased dramatically, while SST and PME activity increased. However the difference among treatments ef-

almidón en azúcares, disminución en brillantez, croma y ángulo de tono por el incremento en la síntesis de carotenoides y actividad de las enzimas polifenol oxidasa y fenol peroxidasa, así como ablandamiento de la pulpa a causa de la hidrólisis de la pared celular por la actividad enzimática de pectinmetilesterasas, poligalacturonasas, celulasas, galactosidasas y pectato liasas (Nath *et al.*, 2006; Hernández *et al.*, 2008; Toivonen y Brummell, 2008; Pérez-López *et al.*, 2009).

CONCLUSIONES

Los frutos manejados sin golpes y empacados en caja tuvieron el menor deterioro y en consecuencia la mayor vida de anaquel.

El deterioro del fruto se asoció con el grado de golpeo al momento de bajar los frutos del árbol, así como con el rozamiento ocurrido durante el empaque, por lo que el lanzar los frutos al suelo y empacarlos a granel causó el mayor deterioro.

El mayor daño del fruto ocurrió entre los días tres y cinco de almacenamiento debido a que la firmeza, el brillo y el ángulo de tono disminuyeron drásticamente, en tanto que los SST y la actividad de PME aumentaron. Sin embargo, la diferencia entre efectos de tratamientos se observó principalmente a los siete y nueve días donde los mejores tratamientos fueron T2 (frutos capturados en costal de yute y empacados a granel en una caja de plástico) y T3 (Frutos lanzados a un colchón sobre el suelo y empacados a granel en una caja de plástico), los cuales sólo difirieron con respecto al testigo en la variable firmeza.

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.) H. E. Moore & Stearn] durante postcosecha. Revista Chapingo Serie Horticultura 8: 263-271.
- ALIA-TEJACAL, I.; VILLANUEVA-ARCE, R.; PELAYO-ZALDÍVAR, C.; COLINAS-LEÓN, M. T.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, V.; BAUTISTA-BAÑOS, S. 2007. Postharvest physiology and technology of sapote mamey fruit (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn. Postharvest Biology and Technology 45: 285-297.
- ANÓNIMO. 1984. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 14 th. ed. Arlington, Virginia., USA. 1140 p.
- ANÓNIMO. 1996. SAS User's Guide. Statistics. Release 6.12 ed. SAS Institute, Inc. Cary, NC., USA. 1028 p.
- ARENAS-OCAMPO, M. L.; ARANA-ERRASQUIN, R.; JIMÉNEZ-APARICIO, A. R.; DÁVILA-ORTÍZ, A. G. 2003. Softening and biochemical changes of zapote mamey fruit (*Pouteria sapota*) at different development and ripening stages. J. Food Biochem. 27: 91-107.
- BAUTISTA-BAÑOS, S.; DÍAZ-PÉREZ, J. C.; BARRERA-NECHA, L. L. 2002. Postharvest fungal rots of sapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn. Postharvest Biology and Technology 24: 197-200.
- 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.; LÓPEZ-GÓMEZ, R. 2001. Response of sapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore and Stearn] fruit to hot water treatments. Postharvest Biology and Technology 22: 159-167.
- GIL S., G. F. 2001. Fruticultura: Madurez de la fruta y manejo postcosecha (Fruta de clima templado y subtropical y uva de vino). Universidad Católica de Chile., Chile. 413 p.
- HERNÁNDEZ, M. M.; MARTÍNEZ, M. A.; ALIA, T. I.; HERNÁNDEZ, H. L. U.; OSORIO, O. R.; COLINAS, L. M. T.; LÓPEZ, M. V.; BAUTISTA, B. S.; VALLE, G. S. 2008. Estrés por impacto en frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota*) durante el manejo postcosecha. Revista Fitotecnia Mexicana 31: 61-66.
- JAYANI, R. S.; SAXENA, S.; GUPTA, R. 2005. Microbial pectinolytic enzymes: A review. Process Biochemistry 40: 2931-2944.
- KADER, A. A. 2002. Postharvest Biology and technology: An Overview, pp. 39-54. In: Postharvest technology of horticultural crops. KADER, A. A. (ed.). University of California Agriculture and Natural Resources, Publication 3311, USA.
- MCGUIRE, R. G. 1992. Reporting of objective color measurements. HortScience 27: 1254-1255.
- NATH, P.; TRIVEDI, P. K.; SANE, V. A.; SANE, A. P. 2006. Role of ethylene in fruit ripening, pp. 151-185. In: Ethylene action in plants. KHAN, N. A. (ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- PÉREZ-LÓPEZ, A.; VILLASEÑOR-PEREA, C. A.; CANO-VÁZQUEZ, A.; RANGEL-FAJARDO, D. M.; ALIA-TEJACAL, I.; COLINAS-LEÓN, M. T. 2009. Comportamiento mecánico y fisiológico de frutos de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn] bajo compresión. Ingeniería Agrícola y Biosistemas 1: 119-125.
- PROULX, E.; CECILIA, M.; NUNES, N.; EMOND, J. P.; BRECHT, J. K. 2005. Quality attributes limiting papaya postharvest

End of English Version

- life at chilling and non-chilling temperatures. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 118: 389-395.
- RAMOS-RAMÍREZ, F. X.; ALIA-TEJACAL, I.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, V.; COLINAS-LEÓN, M. T.; ACOSTA-DURÁN, C. M.; TAPIA-DELGADO, A.; VILLEGAS-TORRES, O. 2009. Almacenamiento de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn) en atmósferas modificadas. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15: 17-23.
- RANGANNA, S. 1979. Manual of analysis of fruits and vegetables products. Tata McGraw Hill Publishing Company Limited, New Delhi., India. pp. 1-20.
- RODRÍGUEZ, A. E.; GURDIAN, R. J. 1986. Grafting studies in mamme sapote (*Calocarpum sapota* (Jack) Merr). *Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture* 30: 121-134.
- TABIL, L. G.; SOKHANSANJ, S. 2001. Mechanical and temperature effects on shelf life stability of fruits and vegetables, pp. 37-85. *In: Food shelf life stability: Chemical, biochemical, and microbiological changes.* ESKIN, N. A. M.; ROBINSON, D. S (eds.). CRC Press LLC., USA.
- THOMPSON, A. K. 2003. Fruit and Vegetables Harvesting, Handling and Storage. Blackwell Publishing Ltd., UK. 460 p.
- TOIVONEN, P. M. A.; BRUMMELL, D. A. 2008. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 48: 1-14.
- TOLLNER, E. W.; BRECHT, J. K.; UPCHURCH, B. L. 1993. Non-destructive evaluation: Detection of external and internal attributes frequently associated with quality or damage, pp. 227-255. *In: Postharvest handling. A systems approach.* SHEWFELT, R. L.; PRUSSIA, S. E. (eds.). Academic Press, INC. San Diego, California., USA.
- TUNG, M. A.; BRITT, I. J.; YADA, S. 2001. Section I: Physical factors. Packaging considerations, pp. 129-145. *In: Food shelf life stability: Chemical, biochemical, and microbiological changes.* ESKIN, N. A. M.; ROBINSON, D. S (eds.). CRC Press LLC., USA.
- VILLANUEVA-ARCE, R.; EVANGELISTA-LOZANO, S.; ARENAS-OCAMPO, M. L.; DÍAZ-PÉREZ, J. C.; BAUTISTA-BAÑOS, S. 2000. Biochemical and physics changes during development and postharvest of sapote mamey fruit (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn). *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 6: 63-72.
- VILLANUEVA-ARCE, R.; DÍAZ-PÉREZ, J. C.; BAUTISTA, S. 2001. Cambios de color y del contenido de sólidos solubles durante el crecimiento y la maduración del fruto del mamey (*Pouteria sapota*). *Tecnología de Alimentos* 36: 16-19.
- WILLS, R.; MCGLASSON, B.; GRAHAM, D.; JOYCE, D. 1998. Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals. Ed. Publishing, Wallingford, Oxon OX10 8DE., UK. 263 p.
- ZEEBROECK, M. V.; TIJSKENS, E.; DINTWA, E.; KAFASHAN, J.; LOODTS, J.; BAERDEMAEKER, D.; RAMÓN, H. 2006. The discrete element method (DEM) to simulate fruit impact damage during transport and handling: Case study of vibration damage during apple bulk transport. *Postharvest Biology and technology* 41: 92-100.