



Color and oxidative stress in the maturation of sapote mamey (*Pouteria sapota*) previous mechanical compression

Color y estrés oxidativo en la maduración de zapote mamey (*Pouteria sapota*) previa compresión mecánica

Pérez-López, A.¹, Alia-Tejacal, I.^{2,*}, Cano-Vázquez, A.¹, Rangel-Fajardo, D.M.¹, Valle-Guadarrama, S.¹, Villaseñor-Perea, C.A.³, López-Blancas, E.², Pérez-Arias, G.A.²

Universidad Autónoma Chapingo, ¹Departamento de Ingeniería Agroindustrial; ²Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. C.P. 56230, Texcoco, Estado de México. México. ³Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Av. Universidad, Núm. 1001, Col. Chamilpa, C.P. 62209. Cuernavaca, Morelos, México.

ABSTRACT

Mamey sapote fruit (*Pouteria sapota*) with round lanceolate shape, harvested at physiological maturity, were subjected to mechanical compressive yield strength (CYS) and mechanical compression point biocedence (CPB) in order to evaluate the effect of mechanical damage in the color components: luminosity (L^*), chromaticity (C^*) and hue (h), the firmness, the content of soluble protein (SP) and total phenols (TP) and the enzymatic activity of peroxidase (POD) and polyphenol oxidase (PPO). The color components were not different from the shape of fruit, nor influenced by the compression levels only at 0 and 3 days of evaluation (DE). During the 9 days of storage in the round shaped fruits subjected to CYS, color components were not affected: L^* , C^* , h (62.3, 49.8 and 50.9), firmness (32.8 N) and enzyme activity of POD (2,109.3 U·mg⁻¹ pro) and PPO (52.7 U·mg⁻¹ pro). The lanceolate fruits were most affected by the compression treatments, being CPB where

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: March 14th 2016.

Accepted/Aceptado: May 20th 2016.

RESUMEN

Frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota*) con forma redonda y lanceolada, cosechados en madurez fisiológica, se sometieron a compresión mecánica a límite elástico (CLE) y compresión mecánica a punto de biocedencia (CPB) con la finalidad de evaluar el efecto del daño mecánico en los componentes de color: luminosidad (L^*), cromaticidad (C^*) y matiz (h), la firmeza, el contenido de proteína soluble (PS) y fenoles totales (FT), así como la actividad enzimática de peroxidasa (POD) y polifenol oxidasa (PFO). Los componentes de color no fueron diferentes por la forma de fruto, ni influidos por los niveles de compresión mecánica únicamente a los 0 y 3 días de evaluación (DdE). Durante los 9 días de almacenamiento en los frutos con forma redonda sometidos a CLE no fueron afectados los componentes de color: L^* , C^* , h (62.3, 49.8, 50.9), firmeza (32.8 N) y la actividad enzimática de POD (2,109.3 U·mg⁻¹ pro) y PFO (52.7 U·mg⁻¹ pro). Los frutos lanceolados fueron los más afectados por los tratamientos de compresión, siendo en CPB donde se presentaron los valores menores de L^* (41.0), C^* (25.9), h (47.7), firmeza (0.8 N) y FT (229.2 mg g⁻¹ pf) a los 6 y 9 DdE; mientras que los valores de PS (3,001.1 mg·kg⁻¹ pf) y la actividad enzimática de POD (2,706.1 U·mg⁻¹ proteína soluble) y PFO (57.5 U·mg⁻¹ pro) fueron mayores a los 9 DdE, con un incremento al transcurrir el almacenamiento. Los frutos de zapote

*Corresponding Author:

Alia-Tejacal, I., Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Av. Universidad, Núm. 1001, Col. Chamilpa, C.P. 62209. Cuernavaca, Morelos, México. Phone: +52(0177) 329 7046. E-mail.: iran.alia@uaem.mx

lower values of L^* (41.0) were presented, C^* (25.9), h (47.7), firmness (0.8 N) and TP (229.2 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{pf}$) at 6 and 9 DE; while the values of PS (3,001.1 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{PF}$) and enzyme activity of POD (2,706.1 $\text{U}\cdot\text{mg}^{-1}\text{pro}$) and PPO (57.5 $\text{U}\cdot\text{mg}^{-1}\text{pro}$) were elevated at 9 DE, up to elapse storage. The fruits of Mamey sapote with round shape had lower susceptibility to mechanical damage when subjected to levels of CYS, therefore, the fruit shape influences the resistance to mechanical compression. Mechanical damage by CPB affected postharvest quality and accelerated the maturation process of the Mamey sapote with lanceolate shape.

KEY WORDS

Pouteria sapota, mechanical damage, fruit shape, peroxidase, polyphenol oxidase, postharvest life.

Introduction

In the last decades, consumers have demanded horticultural products of high quality, and this is a tendency that will be maintained in the future (Van *et al.*, 2007). The mechanical effort in the tissue of the fruits provoked by factors as compression, impact and friction represent important sources for the loss of quality during the post-harvest (Kays and Paull, 2004). Damage by compression appears when the strength applied on the fruit surpasses the yield strength (Thompson, 2003) and it generally occurs during handling, transportation and storage (Kays and Paull, 2004).

Mechanical damage leads to physiological responses that accelerate the maturation and senescence processes in the fruit. Hence, it has been evidenced that bruising increases respiration and production of ethylene in tomato (*Lycopersicon esculentum*) and kiwi (*Actinidia* sp.) (McLeod *et al.*, 1976; De Martino *et al.*, 2002). Phenolic compounds in vacuoles of apple (*Malus* sp.) cells have interaction with the enzyme catecol oxidasa in the plastidios caused by mechanical damage; the latter leads to formation of quinines that polymerize and generate dark compounds (Knee and Miller, 2002). On the other hand, enzymatic activity of peroxidase increases during the maturation and has been correlated with changes in the deterioration of taste, texture and color of fruits and vegetables (Augusto, 2002). In particular,

mamey con forma redonda presentaron menor susceptibilidad al daño mecánico al someterlos a los niveles de CLE, por lo cual, la forma de fruto influye en la resistencia a la compresión mecánica. El daño mecánico por CPB afectó la calidad poscosecha y aceleró el proceso de maduración del zapote mamey con forma lanceolada.

PALABRAS CLAVE

Pouteria sapota, daño mecánico, forma de fruto, peroxidasa, polifenol oxidasa, vida poscosecha.

Introducción

En las últimas décadas, los consumidores han demandado productos hortícolas de calidad alta y esta tendencia se mantendrá en el futuro (Van *et al.*, 2007). El esfuerzo mecánico en el tejido de los frutos ocasionado por factores como compresión, impacto y fricción representan fuentes importantes para la pérdida de calidad durante poscosecha (Kays y Paull, 2004). El daño por compresión aparece cuando la fuerza que se aplica sobre el fruto rebasa el límite elástico del tejido (Thompson, 2003) y generalmente ocurre durante el manejo, transporte y almacenamiento (Kays y Paull, 2004).

Se ha descrito que el daño mecánico desencadena respuestas fisiológicas que aceleran el proceso de maduración y senescencia en el fruto. Así, se ha evidenciado que el magullado incrementa la respiración y producción de etileno en jitomate (*Lycopersicon esculentum*) y kiwi (*Actinidia* sp.) (McLeod *et al.*, 1976; De Martino *et al.*, 2002). Los compuestos fenólicos en vacuolas de las células de manzana (*Malus* sp.) tienen interacción con la enzima catecol oxidasa en los plastidios a consecuencia del daño mecánico, lo anterior conduce a la formación de quinonas que se polimerizan y generan compuestos oscuros (Knee y Miller, 2002). Por otra parte, la actividad de la enzima peroxidasa se incrementa durante la maduración y se ha correlacionado con cambios de deterioro en el sabor, textura y color de frutas y hortalizas (Augusto, 2002). En particular la enzima peroxidasa reacciona con fenoles utilizando H_2O_2 como sustrato (Franck *et al.*, 2007).

La susceptibilidad al daño mecánico en un fruto está determinado por sus propiedades mecánicas (Van *et al.*, 2007), especie, variedad, factores precosecha (humedad relativa, riego y fertilización), etapa de madurez y factores poscosecha como: días después de la cosecha, temperatura, etapa de

the enzyme peroxidase reacts with phenols using H_2O_2 as substrate (Franck *et al.*, 2007).

The susceptibility to mechanical damage in the fruit is determined by its mechanical properties (Van *et al.*, 2007), species, variety, pre-harvest factors (relative humidity, irrigation and fertilization), maturity stage; and post-harvest factors as: days after harvest, temperature, maturity stage of the fruit, water potential and storage time (Martinez *et al.*, 2004; Van *et al.*, 2007). The compression test simulates the static load condition that the fruit can resist and the strength of the tissue deformation in fruits beyond the yield strength, during handling and storage, important parameters to evaluate damage produced by bruises (Sing and Reddy, 2006).

The fruit of sapote mamey tree is consumed in fresh and is highly appreciated by its organoleptic characteristics (Pennington and Sarukhán, 2005). One of the aspects that has not been studied is the effect of the mechanical damage in fruits of sapote mamey, in the post-harvest quality of the fruit. It has been appointed that from harvest until getting to the distribution centers, fruits are manipulated and hit up to five times (Alia *et al.*, 2007), which can cause darkening in pulp, limiting its commercialization. Therefore, the effect of two levels of mechanical compression in physical and chemical changes during maturation of fruits of sapote mamey was studied in this work.

Materials and Methods

Vegetal material and location of the experiment. Sapote mamey fruits in physiological maturity with round lanceolate shape were harvested from creole trees located in Coatlán del Río, Morelos. The index of harvest used by producers was used, meaning, a small part of the epidermis of the fruit was eliminated to observe the coloring of the orange or red pulp, which assures that the fruit has reached its consumption maturity (Alia *et al.*, 2005b; Martínez *et al.*, 2006). Fruits were placed in wooden boxes with load capacity of 30 kg, and transported to the Materials Laboratory from the Department of Agricultural Mechanics Engineering and Multiple Uses of the Universidad Autónoma Chapingo, where mechanical compression tests and evaluation of physicochemical variables were performed. Fruits were

maduración del fruto, potencial de agua y tiempo de almacenamiento (Martínez *et al.*, 2004; Van *et al.*, 2007). La prueba de compresión simula la condición de carga estática que la fruta puede resistir y la fuerza de deformación del tejido de los frutos más allá del límite elástico, durante el manejo y almacenamiento; parámetros importantes para evaluar daños producidos por las magulladuras (Singh y Reddy, 2006).

El fruto del árbol de zapote mamey es consumido en fresco y es muy apreciado por sus características organolépticas (Pennington y Sarukhán, 2005). Uno de los aspectos poco estudiados es el efecto del daño mecánico en frutos de zapote mamey en la calidad poscosecha del fruto. Se ha indicado que, desde la cosecha hasta llegar a los centros de distribución, los frutos son manipulados y golpeados hasta en cinco ocasiones (Alia *et al.*, 2007), lo que puede ser causante de oscurecimiento de la pulpa, esto último limita su comercialización. Es por tanto que en el presente trabajo se estudió el efecto de dos niveles de compresión mecánica en cambios físicos y químicos durante la maduración de frutos de zapote mamey.

Materiales y Métodos

Material vegetal y ubicación del experimento.

Frutos de zapote mamey en madurez fisiológica con forma redonda y lanceolada se cosecharon de árboles criollos ubicados en Coatlán del Río, Morelos. Se utilizó el índice de cosecha empleado por los productores, es decir, se eliminó una pequeña porción de la epidermis del fruto para observar la coloración de la pulpa naranja o roja, lo cual asegura que el fruto alcance la madurez de consumo (Alia *et al.*, 2005b; Martínez *et al.*, 2006). Los frutos se colocaron en cajas de madera con capacidad de 30 kg y se transportaron al Laboratorio de Materiales del Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola y de Usos Múltiples de la Universidad Autónoma Chapingo, donde se realizaron las pruebas de compresión mecánica y la evaluación de las variables fisicoquímicas. Los frutos fueron transportados cubiertos de una capa de plástico con burbujas para evitar la fricción entre frutos. Los frutos fueron aclimatados por 24 h a las condiciones de laboratorio, 20 ± 2 °C; 50-60 % de HR, antes de iniciar las pruebas mecánicas.

Organización experimental. Se formaron seis grupos de 24 frutos para estudiar el efecto de la forma del fruto de zapote mamey: redondo (FR) o lanceolado (FL), y la aplicación de tres diferentes niveles de compresión

transported covered with a bubble plastic layer to avoid friction between the fruits. Fruits were acclimated for 24 h to lab conditions, 20 ± 2 °C; 50-60 % of relative humidity (RH) before initiating mechanical tests.

Experimental organization. Six groups of 24 fruits were made to study the effect of shape of sapote mamey fruit: round (RS) or lanceolate (LS) and the application of three different levels of axial compression: without compression (WC), compressive yield strength (CYS) and compression at biocedence point (CBP). To apply mechanical compression a universal mechanical testing machine INSTRON (model 4469, Instron, Norwood, MA, USA) was used, with crosshead speed of $50 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ and a load cell of 500 N; the CYS and CBP were determined with the help of *load vs displacement* graphics, finding that such distances were 5.7 and 12.9 mm, for CYS and CBP respectively (Pérez *et al.*, 2009). After application of mechanical compression, fruits were stored at lab temperature during nine days (20 °C; 50-60 % RH). Every third day, meaning at 0, 3, 6 and 9 days after applying mechanical compression, three fruits from each treatment were taken in order to perform the analysis of variables.

Evaluated variables. Pulp color was determined with a spectrophotometer (X-rite®, Mod. 3290), eliminating a portion of the epidermis in two opposite sides of the equatorial part of the fruit and luminosity, chromaticity and hue angle were measured (Díaz-Pérez *et al.*, 2000). Firmness was evaluated by retrieving a portion of the shell in two opposite sides of the equatorial part of the fruit, using a texturometer (Chatillon®) with conic strut of 0.7 cm in the base. Values were reported in Newtons.

Total phenols were quantified using the method by Folin and Ciocalteu (Waterman and Mole, 1994). 1 g of the pulp was homogenized with 5 mL of cold methanol at 80 %; after, it was centrifuged at $12,000 \text{ g}$ at 10 °C during 5 min. 1 mL of the supernatant was mixed with 15 mL of deionized water and 1 mL of the reactive of Folin and Ciocalteu, after mixing vigorously, 3 mL of sodium carbonate were added at 20 %; it was left aside during two hours in the darkness. After, the reading of the samples were 760 nm in a spectrophotometer (Milton Roy, Spectronic 21D). A pattern curve of tannic acid was made. Results were reported in mg g^{-1} fresh weight ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ fw}$).

axial: sin compresión (SC), compresión a límite elástico (CLE) y compresión a punto de biocedencia (CPB). Para aplicar la compresión mecánica se utilizó una INSTRON universal mechanical testing machine (model 4469, Instron, Norwood, MA, USA) con una velocidad de cruceta de $50 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ y una celda de carga de 500 N; la CLE y CPB se determinaron con la ayuda de las gráficas de *carga vs desplazamiento* encontrando que dichas distancias fueron de 5.7 y 12.9 mm, para la CLE y CPB, respectivamente (Pérez *et al.*, 2009). Posterior a la aplicación de la compresión mecánica, los frutos se almacenaron a temperatura del laboratorio durante nueve días (20 °C; 50-60 % HR). Cada tercer día, es decir, a los 0, 3, 6 y 9 días después de la aplicación de la compresión mecánica se tomaron tres frutos de cada tratamiento para realizar el análisis de las variables.

Variables evaluadas. El color de la pulpa se determinó con un espectrofotómetro (X-rite®, Mod. 3290), para esto se eliminó una porción de la epidermis en dos lados opuestos de la parte ecuatorial del fruto y se midió la luminosidad, cromaticidad y el ángulo matiz (Díaz-Pérez *et al.*, 2000). La firmeza se evaluó al retirar una porción de la cáscara en dos lados opuestos de la parte ecuatorial del fruto, se empleó un texturómetro (Chatillon®) con puntal cónico de 0.7 cm en la base. Los valores se reportaron en Newtons.

Los fenoles totales se cuantificaron por el método de Folin y Ciocalteu (Waterman y Mole, 1994). Se homogenizó 1 g de la pulpa con 5 mL de metanol frío al 80 %; después, se centrifugó a $12,000 \text{ g}$ a 10 °C durante 5 min. 1 mL del sobrenadante se mezcló con 15 mL de agua desionizada y 1 mL del reactivo de Folin y Ciocalteu, después de mezclarlos vigorosamente, se agregaron 3 mL de carbonato de sodio al 20 %; se dejó reposar durante dos horas en oscuridad. Posteriormente, las lecturas de las muestras fueron a 760 nm en un espectrofotómetro (Milton Roy, Spectronic 21D). Se realizó una curva patrón de ácido tánico. Los resultados se reportaron en mg g^{-1} de peso fresco ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ pf}$).

Para la cuantificación de proteína soluble y actividad enzimática, se elaboró polvo de acetona (PAC) (Alia *et al.*, 2005b), para lo cual, 20 g de pulpa de zapote mamey se homogenizaron con acetona fría (-15 °C), y se filtró al vacío, éste proceso se repitió en cuatro ocasiones. El polvo obtenido se secó a temperatura ambiente y se guardó en ultracongelador (-20 °C). La proteína soluble se determinó por el método de Bradford (1976), se homogenizaron 0.05 g de PAC con 5 mL de amortiguador Tris-HCl 0.1 M (pH= 7.1); 0.1 mL de éste extracto se añadieron a 5 mL de solución de Coomassie blue,

Acetone dust (PAC) was made for the quantification of soluble protein and enzymatic activity (Alia *et al.*, 2005b), for which 20 g of pulp of sapote mamey was homogenized with cold acetone (-15 °C) and filtered under vacuum; this process was repeated in four occasions. Obtained dust was dried at room temperature and kept in an ultrafreezer (-20 °C).

Soluble protein was determined by the Bradford method (1976), 0.05 g of PAC were homogenized with 5 mL of damper Tris-HCl 0.1 M (pH= 7.1); 0.1 mL of this extract was added to 5 mL of solution of Coomassie blue, after agitation readings were taken at 595 nm. Quantification was made by a pattern curve of albumin of bovine and results were expressed in mg kg⁻¹ of fresh weight (mg·kg⁻¹ fw).

Peroxidase (EC. 1.11.1.7). This enzyme was extracted from 0.05 g of PAC, which was homogenized with 5 mL of Tris-HCl 0.1 M (pH 7.1) during 30 s; the homogenized was centrifuged during 20 min at 12,500 g at 4 °C. The assay was made according to the Flurkey and Jen method (1978), in a total volume of 3 mL that contained 2.6 mL of Tris-HCl 0.1 M (pH 7.1), 0.25 mL of guaiac 0.1 M, 0.1 mL of hydrogen peroxide at 0.25 % and 0.15 mL of supernatant. Absorbance change was determined at 470 nm. The enzymatic unit (U) was defined as the formation of 1 mmol of tetra-guaiaconate min⁻¹.

Polyphenol oxidase (EC.1.14.18.1). The extraction of the enzyme was made from 0.2 g of PAC, it was homogenized with 5 mL of Tris-HCl 0.1 M (pH 7.1) during 1 min, and it was then centrifuged during 20 min at 10,000 g at 4 °C. The assay of the enzymatic activity (Laminkanra, 1995) was made with 0.2 mL of supernatant and 3 mL of catechol (60 mM), the absorbance change was evaluated at 420 nm. The U was defined as the formation of 1 mmol of *o*-benzoquinone min⁻¹. Enzymatic activity of POD and PPO was reported in terms of U mg⁻¹ of protein (U·mg⁻¹ pro).

Data analysis. The experimental design was factorial, with factor A: shape of fruit and factor B: compression level, with a fix 2 X 3. One fruit was considered as repetitions and three repetitions were used. Data obtained from the analyzed variables were submitted to ANAVA and mean comparison by Tukey test ($p \leq 0.05$), for each day of evaluation, with the statistical program SAS® (Statistical Analysis System, ver. 9.0) (SAS, 2002).

después de agitación se tomaron las lecturas a 595 nm. La cuantificación se realizó mediante una curva patrón de albúmina de bovino y los resultados se expresaron en mg kg⁻¹ de peso fresco (mg·kg⁻¹ pf).

Peroxidasa (EC. 1.11.1.7). Ésta enzima se extrajo de 0.05 g de PAC, el cual se homogenizó con 5 mL de Tris-HCl 0.1 M (pH 7.1) durante 30 s; el homogenizado se centrifugó durante 20 min a 12,500 g a 4 °C. El ensayo se realizó de acuerdo al método de Flurkey y Jen (1978), en un volumen total de 3 mL, que contenía 2.6 mL de Tris-HCl 0.1 M (pH 7.1), 0.25 mL de guayacol 0.1 M, 0.1 mL de peróxido de hidrógeno al 0.25 % y 0.15 mL del sobrenadante. Se determinó el cambio de absorbancia a 470 nm. La unidad enzimática (U) se definió como la formación de 1 mmol de tetraguayacol min⁻¹.

Polifenol oxidasa (EC. 1.14.18.1). La extracción de la enzima se realizó a partir de 0.2 g de PAC, éste se homogenizó con 5 mL de Tris-HCl 0.1 M (pH 7.1) durante 1 min, posteriormente se centrifugó por 20 min a 10,000 g a 4 °C. El ensayo de la actividad enzimática (Laminkanra, 1995) se realizó con 0.2 mL del sobrenadante y 3 mL de catecol (60 mM), se evaluó el cambio de absorbancia a 420 nm. La U se definió como la formación de 1 mmol de *o*-benzoquinona min⁻¹. La actividad enzimática de PDO y PFO se reportó en términos de U mg⁻¹ de proteína (U·mg⁻¹ pro).

Análisis de datos. El diseño experimental fue factorial, con el factor A: Forma de fruto y el factor B: Nivel de compresión, con un arreglo 2 X 3. Se consideró un fruto como repetición y se emplearon tres repeticiones. Los datos obtenidos de las variables analizadas se sometieron a un ANAVA y comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), por cada día de evaluación, con el programa estadístico SAS® (Statistical Analysis System, ver. 9.0) (SAS, 2002).

Resultados y Discusión

Color. El color de pulpa en los frutos de zapote mamey es uno de los atributos de calidad que cambia durante la maduración y es el principal índice de cosecha (Alia *et al.*, 2007). En el presente experimento la luminosidad (L*) en los frutos redondos sin compresión (SC) mostró un cambio mínimo en L* de 66.1 a 62.6, mientras que en los frutos lanceolados SC los valores de L* disminuyeron de 69.7 a 48.9, durante el periodo de evaluación (Tabla 1). Lo anterior concuerda con estudios realizados durante la ma-

Results and Discussion

Color. Pulp color in fruits of sapote mamey is one of the quality attributes that changes during maturation, and is the main harvest index (Alia *et al.*, 2007). In this experiment, luminosity (L^*) in the round fruits without compression (WC) showed a minimal change in L^* from 66.1 to 62.6, while in the lanceolate fruits WC, values of L^* decreased from 69.7 to 48.9, during the evaluation period (Table 1). The latter agrees with the studies made during maturation of sapote mamey, where L^* changed from 65.8±5.5 in physiological maturity to 46±8.7 L^* in consume maturity (Díaz-Pérez *et al.*, 2000; Arenas-Ocampo *et al.*, 2003). On the other hand, lanceolate fruits WC and with compression at biocedence point (CBP) at 6 and 9 days were statistically different ($p \leq 0.05$) to other treatments, being lanceolate fruits with CBP those that showed minor values (Table 1), which suggests that damage at this level of compression negatively affects luminosity in lanceolate fruits. In apple, values of luminosity decreased exponentially during the first 10 h after applying stress by impact due to intoxication of phenols (Samin and Banks, 1993).

Chromaticity (C^*) in sapote mamey does not present significant changes during maturation (Díaz-Pérez *et al.*, 2000; Arenas-Ocampo *et al.*, 2003), the latter was similar in round WC fruits, where values decreased $C^* = 46.9$ to 45.4; however, in lanceolate WC fruits, values decreased up to 34.1 C^* , at the end of the evaluation period (Table 1); therefore, observed differences can be attributed to endogen differences of the material used. Lanceolate fruits previously submitted to CBP showed significant differences at 6 and 9 days of evaluation ($p \leq 0.05$) and minor values of chromaticity (Table 1).

The hue angle (h) in round WC fruits was maintained with values between $h = 54.2$ and 51.8, maintaining color tending towards orange after 9 days, nevertheless, in lanceolate fruits WC, values decreased $h = 54.6$ to 46.8, meaning, they initially presented color tending towards orange and after 9 days, color showed tendency towards red (Table 1). The latter agrees with reports of physiological maturity of sapote mamey, where values were obtained from $h = 55 \pm 3.5$, while in maturation of consumption, values reported were $h = 47 \pm 5$ (Díaz-Pérez *et al.*, 2000; Alia-Tejacal *et al.*, 2002; Arenas-Ocampo *et al.*, 2003). Gaona-García *et al.*, (2008) when evaluating fruits of sapote mamey in maturation of consumption

duración de zapote mamey, donde L^* cambió de 65.8±5.5 en madurez fisiológica a 46±8.7 L^* en madurez de consumo (Díaz-Pérez *et al.*, 2000; Arenas-Ocampo *et al.*, 2003). Por otra parte, los frutos lanceolados SC y con compresión al punto de biocedencia (CPB) a los 6 y 9 días fueron estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$), a los otros tratamientos, siendo los frutos lanceolados con CPB los que presentaron los valores menores (Tabla 1), lo cual sugiere que el daño a este nivel de compresión afecta negativamente la luminosidad en frutos lanceolados. En manzana, los valores de luminosidad disminuyeron exponencialmente durante las primeras 10 h después de aplicar estrés por impacto debido a la oxidación de fenoles (Samin y Banks, 1993).

La cromaticidad (C^*) en zapote mamey no presenta cambios significativos durante su maduración (Díaz-Pérez *et al.*, 2000; Arenas-Ocampo *et al.*, 2003), lo anterior fue similar en los frutos redondos SC, donde los valores disminuyeron de $C^* = 46.9$ a 45.4; sin embargo, en los frutos lanceolados SC, los valores disminuyeron hasta 34.1 C^* , al final del período de evaluación (Tabla 1); por lo que probablemente las diferencias observadas en la cromaticidad se pueden atribuir a diferencias endógenas del material utilizado. Los frutos lanceolados sometidos previamente a CPB mostraron diferencias significativas a los 6 y 9 días de evaluación ($p \leq 0.05$) y los valores menores de cromaticidad (Tabla 1).

El ángulo de matiz (h) en frutos redondos SC se mantuvo con valores entre $h = 54.2$ y 51.8, manteniendo un color tendiente al naranja después de 9 días, no obstante, en frutos lanceolados SC, los valores disminuyeron de $h = 54.6$ a 46.8, esto es, inicialmente presentaron color con tendencia al naranja y a los 9 días el color mostró tendencia hacia al rojo (Tabla 1). Lo anterior concuerda con reportes en la madurez fisiológica del zapote mamey, donde se obtuvieron valores entre $h = 55 \pm 3.5$, mientras que en la madurez de consumo se reportaron valores de $h = 47 \pm 5$ (Díaz-Pérez *et al.*, 2000; Alia-Tejacal *et al.*, 2002; Arenas-Ocampo *et al.*, 2003). Gaona-García *et al.*, (2008) al evaluar frutos de zapote mamey en madurez de consumo provenientes de 19 árboles criollos cuantificaron valores mínimos de $h = 61$ y máximos de $h = 81$, mostrando así la gran variación en este parámetro. Solo a los 6 días de evaluación se presentó diferencia estadística ($p \leq 0.05$), entre los frutos lanceolados SC y con compresión al límite elástico (CLE), con respecto a los demás tratamientos. Los frutos redondos y lanceolados sometidos a CPB fueron estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$), por lo cual se infiere que este tipo de

Table 1.
Color and firmness of maturation of round and lanceolate sapote mamey fruits previously submitted to mechanical compression.

Tabla 1.
Color y firmeza durante la maduración de frutos de zapote mamey redondos y lanceolados previamente sometidos a compresión mecánica.

Evaluation days	Shape of fruit	Level of compression	Luminosity (L)	Chrome (C)	Hue (h)	Firmness (N)
0	Round	WC	66.1 ^{az}	46.9 ^a	54.2 ^a	67.1 ^a
		CYS	67.8 ^a	46.5 ^a	54.4 ^a	66.6 ^a
		CBP	66.4 ^a	48.3 ^a	54.2 ^a	63.3 ^a
	Lanceolate	WC	69.7 ^a	46.9 ^a	54.6 ^a	64.4 ^a
		CYS	66.5 ^a	49.2 ^a	52.3 ^a	58.1 ^{ab}
		CBP	69.0 ^a	47.4 ^a	53.7 ^a	49.8 ^b
		MSHD	4.6	3.9	4.6	10.4
3	Round	WC	66.2 ^a	46.4 ^a	54.4 ^a	62.1 ^a
		CYS	67.4 ^a	47.1 ^a	54.6 ^a	61.8 ^a
		CBP	66.0 ^a	47.3 ^a	53.8 ^a	59.6 ^{ab}
	Lanceolate	WC	66.0 ^a	47.3 ^a	53.9 ^a	63.4 ^a
		CYS	66.9 ^a	47.5 ^a	52.1 ^a	52.2 ^b
		CBP	64.7 ^a	47.8 ^a	52.6 ^a	38.6 ^c
		MSHD	5.9	3.0	6.1	8.8
6	Round	WC	63.5 ^a	46.7 ^a	52.3 ^a	47.2 ^a
		CYS	65.1 ^a	46.6 ^a	53.2 ^a	41.7 ^{ab}
		CBP	62.8 ^a	46.9 ^a	51.2 ^{ab}	38.2 ^b
	Lanceolate	WC	51.2 ^b	44.5 ^a	46.3 ^b	4.4 ^c
		CYS	61.6 ^a	47.8 ^a	46.4 ^b	3.7 ^c
		CBP	47.2 ^b	29.8 ^b	49.7 ^{ab}	1.5 ^c
		MSHD	8.4	6.4	5.9	5.8
9	Round	WC	62.6 ^a	45.4 ^{ab}	51.8 ^a	37.0 ^a
		CYS	62.3 ^a	49.8 ^a	50.9 ^a	32.8 ^a
		CBP	62.5 ^a	39.0 ^{ab}	51.6 ^a	29.8 ^a
	Lanceolate	WC	48.9 ^{ab}	34.1 ^{bc}	46.8 ^a	2.7 ^b
		CYS	58.7 ^a	41.2 ^{ab}	47.3 ^a	2.0 ^b
		CBP	41.0 ^b	25.9 ^c	47.7 ^a	0.8 ^b
		MSHD	14.1	12.1	9.3	13.7

^aEqual letters in the sense of the column in each variable are statistically equal according to Tukey ($p \leq 0.05$). WC: Without compression (control). CYS: Compressive yield strength. CBP: Compression at biocedence point. MSHD: Minimum significantly honest difference.

^aLetras iguales en el sentido de las columnas en cada variable son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey ($p \leq 0.05$). SC: Sin compresión (testigo). CLE: Compresión a limite elástico. CPB: Compresión a punto de biocedencia. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

from 19 creole trees quantified minimum values of $h = 61$ and maximum of $h = 81$, showing the great variation in this parameter. Only at 6 days of evaluation statistical difference was presented ($p \leq 0.05$), between the lanceolate WC fruits and with compression at yield strength (CYS), respect other treatments. Round and lanceolate fruits submitted to CBP were statistically equal ($p \leq 0.05$), there it is inferred that this type of compression equally influences in both types of fruit (Table 1). In general,

compresión influye por igual en ambos tipos de fruto (Tabla 1). En general, se menciona que la disminución de los fenoles totales durante la maduración afectan los componentes del color (Alia-Tejagal et al., 2002; Alia et al., 2005a) en este contexto, en los frutos sometidos a CPB se vieron afectados dichos componentes y a su vez presentaron las concentraciones menores de fenoles totales (Tabla 2).

Table 2.
Total phenols, soluble protein and behavior of enzymatic activity in round and lanceolate fruits of sapote mamey previously submitted to mechanical compression.

Tabla 2.
Fenoles totales, proteína soluble y comportamiento de la actividad enzimática en frutos de zapote mamey redondos y lanceolados previamente sometidos a compresión mecánica.

Evaluation days	Shape of fruit	Level of compression	TP (mg·g ⁻¹ fw)	SP (mg·kg ⁻¹ fw)	POD (U·mg ⁻¹ pro)	PPO (U·mg ⁻¹ pro)
0	Round	WC	1582.5 ^{ab}	76.8 ^a	320.1 ^c	19.9 ^c
		CYS	1584.1 ^a	101.7 ^c	355.4 ^{bc}	22.3 ^{bc}
		CPB	1497.9 ^{ab}	164.4 ^a	402.7 ^a	25.1 ^{ab}
	Lanceolate	WC	1603.4 ^a	77.6 ^d	347.5 ^{bc}	23.6 ^b
		CYS	1385.0 ^{bc}	136.5 ^b	389.7 ^a	24.8 ^{ab}
		CBP	1282.4 ^c	176.0 ^a	504.4 ^a	27.0 ^a
		MSHD	117.8	22.7	56.7	3.2
3	Round	WC	1434.0 ^b	153.1 ^c	525.1 ^b	21.8 ^{bc}
		CYS	1211.4 ^b	188.7 ^d	589.2 ^a	23.1 ^d
		CBP	1082.5 ^c	222.2 ^c	631.7 ^a	29.3 ^b
	Lanceolate	WC	1388.3 ^a	156.2 ^c	532.6 ^a	21.1 ^c
		CYS	1068.8 ^c	291.7 ^a	612.6 ^b	25.1 ^c
		CBP	1029.8 ^c	487.3 ^a	840.7 ^a	38.1 ^a
		MSHD	117.3	30.4	15.5	1.9
6	Round	WC	1125.5 ^b	286.3 ^c	892.4 ^a	30.0 ^d
		CYS	903.3 ^b	416.7 ^c	903.4 ^a	31.6 ^d
		CBP	653.9 ^d	442.0 ^c	1346.3 ^b	44.1 ^b
	Lanceolate	WC	1071.0 ^b	289.4 ^c	985.6 ^{cd}	31.4 ^d
		CYS	802.9 ^c	911.2 ^a	1118.9 ^c	34.6 ^c
		CBP	664.1 ^d	1568.2 ^a	2104.1 ^a	53.4 ^a
		MSHD	74.2	342.8	180.5	2.3
9	Round	WC	537.6 ^{ab}	885.6 ^{cd}	2057.2 ^c	51.2 ^c
		CYS	544.4 ^a	983.4 ^{cd}	2109.3 ^c	52.7 ^{bc}
		CBP	508.2 ^b	703.3 ^d	2239.6 ^{bc}	54.2 ^b
	Lanceolate	WC	524.6 ^{ab}	1031.1 ^c	2105.5 ^c	52.2 ^{bc}
		CYS	464.1 ^c	2022.1 ^a	2357.4 ^b	53.7 ^{bc}
		CBP	229.2 ^d	3001.1 ^a	2706.1 ^a	57.5 ^a
		MSHD	29.5	315.4	206.6	2.6

^aEqual letters in the sense of the column in each variable are statistically equal according to Tukey ($p \leq 0.05$). TP: Total Phenols; SP: Soluble protein; POD: Peroxidase; PPO: Polyphenoloxidase; WC: Without compression (control). CYS: Compressive yield strength. CBP: Compression at biocedence point. MSHD: Minimum significantly honest difference.

^aLetras iguales en el sentido de las columnas en cada variable son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey ($p \leq 0.05$). TP: Fenoles totales; PS: Proteína soluble; POD: Peroxidasa; PPO: Polifenoloxidasa. SC: Sin compresión (testigo); CLE: Compresión a límite elástico; CPB: Compresión a punto de biocedencia. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

it is mentioned that the decrease of total phenols during maturation affects color components (Alia-Tejacal *et al.*, 2002; Alia *et al.*, 2005a); in that context, fruits submitted to CBP were affected by such components and also presented lower concentrations of total phenols (Table 2).

Firmness. Values of this variable decreased in round fruits from 67.1 to 37.0 N, while in those of lanceo-

Firmeza. Los valores de esta variable disminuyeron en los frutos redondos de 67.1 a 37.0 N, mientras que en los de forma lanceolada fueron de 64.4 a 2.7 N (Tabla 1); y solo a los 6 y 9 dda hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre la forma del fruto. Esto probablemente se deba a que los frutos redondos tienen más semillas que los frutos lanceolados (Morton, 2013; Gaona-García *et al.*, 2008), lo cual pudiera ofrecer más resistencia a la compre-

late shape, they went from 64.4 to 2.7 N (Table 1), and only at 6 and 9 days of storage there were significant differences ($p \leq 0.05$) between the shapes of the fruit. This is probably due to the fact that round fruits have more seeds than lanceolate fruits (Morton, 2013; Gao-na-García *et al.*, 2008), which could offer more resistance to compression; nevertheless, the edible portion of the pulp is lower and therefore of low quality of its consumption in fresh. On the other hand, the CBP treatment presented lower values in both types of fruit, being statistically different ($p \leq 0.05$) between themselves; in this context, lanceolate fruits were the most affected by this type of compression (Table 1), this suggests that shape of the fruit influences in the susceptibility of damage by compression and CBP accelerates the loss of firmness. Arenas-Ocampo *et al.*, (2003) report that firmness decreases in sapote mamey fruits during maturation due, mostly, to an increase in the activity of the enzyme β -galactosidase.

Total phenols. Round and lanceolate fruits WC were statistically equal ($p \geq 0.05$) by presenting values that decrease during storage days from 1,582.5 and 1,603.4 to 537.6 and 524.6 mg g⁻¹ of fresh weight (FW). This behavior has been reported previous to the maturation of fruits of sapote mamey, where total phenols decrease causing a diminishment in the astringency (Alia *et al.*, 2005b). On the other hand, in fruits submitted to CYS and CBP, concentration of total phenols was lower in respect to fruits WC; and in days 3, 6 and 9, statistical difference ($p \leq 0.05$) among themselves and because of fruit shape was detected; hence, lanceolate fruits had lower concentration of these metabolites, and fruits submitted to CBP were those that showed lower values of total phenols (Table 2) and luminosity (Table 1); likewise, these fruits showed higher values in the enzymatic activity (Table 3). The latter agrees with reports where diminishment of total phenols in sapote mamey has been associated with the reduction of luminosity and increase in the enzymatic activity of peroxidase (POD) and polyphenoloxidase (PPO) (Alia *et al.*, 2005b).

Soluble protein. Values in this variable increased in round and lanceolate fruits of sapote mamey WC; during storage, they changed from 76.8 and 77.6 to 885.6 and 1,110.5 mg·kg⁻¹ FW, respectively (Table 2); however, no significant statistical difference was detected between the shapes of the fruit WC. In the lanceolate fruit submitted to CYS and CBP, a higher con-

sión; no obstante, la porción comestible de pulpa es menor y por lo tanto son de baja calidad para consumo en fresco. Por otra parte, el tratamiento de CPB presentó los valores menores en los dos tipos de fruto, siendo estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) entre sí; en este contexto los frutos lanceolados fueron los más afectados por este tipo de compresión (Tabla 1), esto sugiere que la forma del fruto influye en la susceptibilidad al daño por compresión y que la CPB acelera la pérdida de firmeza. Arenas-Ocampo *et al.*, (2003), reportan que la firmeza disminuye en frutos de zapote mamey durante la maduración debido, en mayor proporción, a un incremento en la actividad de la enzima β -galactosidasa.

Fenoles totales. Los frutos redondos y lanceolados SC fueron estadísticamente iguales ($p \geq 0.05$), al presentar valores que disminuyeron durante los días de almacenamiento de 1,582.5 y 1,603.4 a 537.6 y 524.6 mg g⁻¹ de peso fresco (PF). Este comportamiento se ha reportado previamente en la maduración de frutos de zapote mamey, donde los fenoles totales disminuyeron ocasionando disminución en la astringencia (Alia *et al.*, 2005b). Por su parte, en los frutos sometidos a CLE y CPB, la concentración de fenoles totales fue menor con respecto a los frutos SC; y en los 3, 6 y 9 días se detectaron diferencia estadística ($p \leq 0.05$) entre ellos mismos y por la forma de fruto; así, en los frutos lanceolados se tuvo la menor concentración de estos metabolitos, siendo los frutos sometidos a CPB, quienes mostraron los valores menores de fenoles totales (Tabla 2) y luminosity (Tabla 1); a su vez estos mismos frutos mostraron los valores más altos en la actividad enzimática (Tabla 3). Lo anterior concuerda con reportes en zapote mamey donde se encontró que la disminución de fenoles totales se ha asociado con la reducción de la luminosity e incremento en la actividad enzimática de peroxidasa (POD) y polifenoloxidasa (PFO) (Alia *et al.*, 2005b).

Proteína soluble. Los valores de esta variable se incrementaron en los frutos de zapote mamey redondos y lanceolados SC, durante el almacenamiento cambiaron de 76.8 y 77.6 a 885.6 y 1,110.5 mg·kg⁻¹ PF, respectivamente (Tabla 2); sin embargo, no se detectó diferencia estadística significativa entre las formas de fruto SC. En los frutos lanceolados sometidos a CLE y CPB se cuantificó una mayor concentración de proteína con valores de 136.5 y 176.0 a 2,022.1 y 3,001.1 mg·kg⁻¹ PF; y presentaron diferencia estadística ($p \leq 0.05$) dentro de cada forma de fruto y tipo de compresión (Tabla 2). Esto sugiere que la compresión mecánica causó mayor incremento en la concentración de proteína soluble, siendo significativamente mayor en los

centration of protein with values from 136.5 and 176.0 to 2,022.1 and 3,001.1 mg·kg⁻¹ FW was quantified; and they presented statistical difference ($p \leq 0.05$) within each form of the fruit and type of compression (Table 2). This suggests that mechanical compression caused higher increase in the concentration of soluble protein, being significantly higher in lanceolate than round fruits, probably due to the change and increase in metabolic routes that involve maturation (Tucker, 1993). These results confirm the acceleration in the maturation of the lanceolate fruits in response to compression.

POD activity. During storage days, a constant increase in the activity of this enzyme was observed in all treatments; this behavior was also observed during maturation in sapote mamey, where the increase was due to the presence of phenolic compounds free of reaction, related to climacteric respiration (Alia-Tejacal *et al.*, 2002; Alia *et al.*, 2005b). On the other hand, there was no statistical difference ($p \geq 0.05$) amongst round and lanceolate fruit WC during evaluation days (Table 2), which suggests that shape of the fruit does not influence in the POD activity. Round fruits submitted to CYS were statistically equal to fruits WC, which can indicate that the shape of these fruits can bare such compression, not so for the lanceolate fruits, which presented higher values of activity (1,118.9 and 2,357.4 U·mg⁻¹ pro) at 6 and 9 days, respectively. In mangosteen fruit (*Garcinia mangostana* L.) submitted to impact of a fall of 80 cm, a rapid increase of peroxidase was observed, hence impact can increase the activity of peroxidase and it can simultaneously damage the tonoplast of vacuoles that result in the drain of phenolic compounds that get in contact with peroxidase (Ketsa and Atantee, 1998). On the other hand, fruits with CBP showed higher enzymatic activity; in this context, there was statistical difference ($p \leq 0.05$) between the two form of the fruit in days 0, 3, 6 and 9; lanceolate fruits were the one presenting higher values from 504.4 to 2,706.1 U·mg⁻¹ pro, from 0 to 9 days of storage; therefore, differences are evidenced in response to the mechanical damage due to the type of compression and the fruit form. In plums (*Prunus domestica*) submitted to mechanical damage, POD activity was increased during maturation, due probably to the need of eliminating H₂O₂ that is generated in the senescence (De Martino *et al.*, 2002), process that is accelerated due to the mechanical effect by compression.

PPO activity. This enzyme presented similar tendency to the activity showed by POD, where enzy-

frutos lanceolados que en los frutos redondos; probablemente debido al cambio e incremento en rutas metabólicas que involucra la maduración (Tucker, 1993). Estos resultados confirman el aceleramiento en la maduración de los frutos lanceolados en respuesta a la compresión.

Actividad de POD. Durante los días de almacenamiento se observó un incremento constante en la actividad de esta enzima en todos los tratamientos; este comportamiento también se observó durante la maduración de zapote mamey, donde el incremento se debió a la presencia de compuestos fenólicos libres de reacción, relacionados con el climaterio de respiración (Alia-Tejacal *et al.*, 2002; Alia *et al.*, 2005b). Por otra parte, entre los frutos redondos y lanceolados SC no hubo diferencia estadística ($p \geq 0.05$) en los días de evaluación (Tabla 2), lo cual sugiere que la forma de fruto no influye en la actividad de la POD. Los frutos redondos sometidos a CLE fueron estadísticamente iguales a los frutos SC, lo que puede indicar que la forma de estos frutos puede soportar dicha compresión, no así los frutos lanceolados, quienes presentaron mayores valores de actividad (1,118.9 y 2,357.4 U·mg⁻¹ pro) a los 6 y 9 días, respectivamente. En frutos de mangostán (*Garcinia mangostana* L.) sometidos a impacto de una caída de 80 cm, se observó un rápido incremento de peroxidasa, por lo que el impacto puede aumentar la actividad de la peroxidasa y simultáneamente dañar el tonoplasto de vacuolas que resulta en la fuga de compuestos fenólicos que entran en contacto con peroxidasa (Ketsa y Atantee, 1998). Por otra parte, los frutos con CPB fueron los que mostraron la mayor actividad enzimática; en este contexto, hubo diferencia estadística ($p \leq 0.05$) entre las dos formas de fruto en los 0, 3, 6 y 9 días; siendo los frutos lanceolados los que presentaron los valores mayores, de 504.4 a 2,706.1 U·mg⁻¹ pro, de los 0 a 9 días de almacenamiento; por lo cual se evidencian diferencias en la respuesta al daño mecánico por tipo de compresión y por forma de fruto. En ciruelas (*Prunus domestica*) sometidas a daño mecánico la actividad de POD se incrementó durante la maduración, debido probablemente a la necesidad de eliminar H₂O₂ que se genera en la senescencia (De Martino *et al.*, 2002); proceso que se ve acelerado por efecto del daño mecánico por compresión.

Actividad de PFO. Ésta enzima presentó tendencia similar a la actividad observada en POD, en donde la actividad enzimática se incrementó durante la maduración de los frutos de zapote mamey. Sin embargo, solo en el análisis inicial (0 días) hubo diferencia estadística ($p \leq 0.05$) entre los frutos redondos y lanceolados SC, lo que indica que la forma del fruto influye inicialmente en la

matic activity was increased during maturation of the fruits of sapote mamey. However, there was statistical difference between lanceolate and round fruits WC only in the initial analysis (0 days), which indicates that the shape of the fruit initially influences in the activity of PPO, not so during storage, since at days 3, 6 and 9, no significant statistical differences ($p \geq 0.05$) were observed between such fruits (Table 2). It has been reported that during maturation of sapote mamey the activity of PPO is increased, associating it with the loss of astringency and gradual darkening of the pulp (Alia-Tejacal *et al.*, 2002; Alia *et al.*, 2005b). On the other hand, round and lanceolate fruit submitted to CYS showed statistical differences only at days 3 and 6 of storage, lanceolate ones presented higher activity (25.1 and 34.6 U·mg⁻¹ pro), respectively. Steffens *et al.*, (1994) indicate that the PPO enzyme is located in plastids and after damages or fruit senescence cytosol is released. In this site molecular oxygen is used to oxidize oxidar *o*-difenoles to *o*-quinonas (Wang and Constabel, 2004).

Quinones products are responsible for the darkening of the pulp and have been associated to the increase of the PPO activity (Steffens *et al.*, 1994). Finally, the application of CBP in lanceolate fruits caused a higher enzymatic activity (from 27.0 to 57.5 U·mg⁻¹ pro), showing statistical difference ($p \leq 0.05$) in relation to other treatments and during evaluation period Round (Table 2). According to Mohsenin (1970), the deterioration threshold starts with a cellular rupture of the tissue, which produces an excessive deformation beyond biocedence point.

Conclusions

The shape of the fruit sapote mamey influences in the resistance to mechanical compression since round fruits showed less susceptibility to mechanical damage when submitted to compression levels than lanceolate fruits. In addition, compression at biocedence point affected the components of color and firmness; likewise, total phenols decreased while the content of soluble protein increased as the enzymatic activity of POD and PPO; therefore, a negative effect in the post-harvest quality of the fruit was present, along to an acceleration in the maturation process. These results show the dependence of the metabolism of the tissue of the fruit with the intensity and direction of application of mechanical effort, which altogether constitute important criteria to consider in the design of packaging systems.

actividad de PFO, no así durante el almacenamiento, puesto que a los 3, 6 y 9 días no se observaron diferencias estadísticas significativas ($p \geq 0.05$) entre dichos frutos (Tabla 2). Se ha reportado que durante la maduración del zapote mamey se incrementa la actividad de PFO, asociándose con la pérdida de astringencia y oscurecimiento gradual de la pulpa (Alia-Tejacal *et al.*, 2002; Alia *et al.*, 2005b). Por otra parte, los frutos redondos y lanceolados sometidos a CLE, mostraron diferencias estadísticas solo a los 3 y 6 días de almacenamiento, siendo los lanceolados los que presentaron mayor actividad (25.1 y 34.6 U·mg⁻¹ pro), respectivamente. Steffens *et al.*, (1994) indican que la enzima PFO se localiza en plastidios y después de daños o senescencia del fruto, se libera al citosol. En este sitio se utiliza oxígeno molecular para oxidar *o*-difenoles a *o*-quinonas (Wang y Constabel, 2004).

Los productos de las quinonas son los responsables para el oscurecimiento de la pulpa y se ha asociado al incremento en actividad de PFO (Steffens *et al.*, 1994), finalmente la aplicación de la CPB en frutos lanceolados ocasionó una actividad enzimática mayor (de 27.0 a 57.5 U·mg⁻¹ pro), mostrando diferencia estadística ($p \leq 0.05$) con respecto a los demás tratamientos y durante el periodo de evaluación (Tabla 2). Según Mohsenin (1970), el umbral de deterioro inicia con ruptura celular del tejido, la cual produce una excesiva deformación más allá del punto de biocedencia.

Conclusiones

La forma del fruto de zapote mamey influye en la resistencia a la compresión mecánica, puesto que los frutos redondos mostraron menor susceptibilidad al daño mecánico al someterlos a los niveles de compresión que los frutos lanceolados. A su vez, la compresión a punto de biocedencia afectó los componentes de color y la firmeza, así mismo, los fenoles totales disminuyeron mientras el contenido de proteína soluble se incrementó al igual que la actividad enzimática de POD y PFO por lo cual se presentó un efecto negativo en la calidad poscosecha del fruto, aunado a un marcado aceleramiento en el proceso de maduración. Estos resultados demuestran la dependencia del metabolismo del tejido del fruto con la intensidad y dirección de aplicación del esfuerzo mecánico, **que en su conjunto constituyen criterios importantes a considerar en el diseño de los sistemas de empaque.**

References

- Alia-Tejagal, I., Colinas-León, M.T., Martínez-Damián, M.T. and Soto-Hernández, M.R. 2002. Factores fisiológicos, bioquímicos y de calidad de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* Jacq. H. E. Moore & Stearn) durante poscosecha. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 8(2): 263-281. <https://chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rchshVIII219.pdf>
- Alia, T.I., Colinas, L.M.T., Martínez, D.M.T. and Soto, H.R.M. 2005a. Daños por frío en zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn). I. Comportamiento de volátiles, firmeza y azúcares totales. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28: 17-24. <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/28-1/3a.pdf>
- Alia, T.I., Colinas, L.M.T., Martínez, D.M.T. and Soto, H.R.M. 2005b Daños por frío en zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn). II. Cambios en fenoles totales y actividad enzimática. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28:25-32. <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/28-1/4a.pdf>
- Alia, T.I., Villanueva-Arce, R., Pelayo-Zaldívar, C., Colinas, L.M.T., López-Martínez, V. and Bautista-Baños, S. 2007. Postharvest physiology and technology of sapote mamey fruit [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn]. *Postharvest Biology and Technology* 45(3): 285-297. https://www.researchgate.net/publication/222122720_Postharvest_physiology_and_technology_of_sapote_mamey_fruit_Pouteria_sapota_Jacq_HE_Moore_Stearn
- Arenas-Ocampo, M.L., Evangelista-Lozano, S., Arana-Erassquin, R., Jiménez-Aparicio, R. and Davila-Ortiz, G. 2003. Softening and biochemical changes of zapote mamey fruit (*Pouteria sapota*) at different development and ripening stages. *Journal of Food Chemistry* 27: 91-107. *Journal of Food Biochemistry* 27: 91-107. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1745-4514.2003.tb00269.x/epdf>
- Augusto, N.V. 2002. Ionically Bound Peroxidase from Peach Fruit. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 45: 7-16. <http://www.scielo.br/pdf/babt/v45n1/11461.pdf>
- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72:248-254. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003269776905273>
- De Martino, G., Massantini, R., Botondi, R. and Mencarelli, F. 2002. Temperature affects impact injury on apricot fruit. *Postharvest Biology and Technology* 25: 145-149. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092552140100165X>
- Díaz-Perez, J.C., Bautista, S. and Villanueva, R. 2000. Quality changes in sapote mamey fruit during ripening storage. *Postharvest Biology and Technology* 18:67-73. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521499000629>
- Flurkey, W.H. and Jen, J. 1978. Peroxidase and polyphenoloxidase activities in developing peaches. *Journal of Food Science* 43(6): 1828-1831. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2621.1978.tb07424.x/abstract>
- Franck, C., Lammertyna, J., Ho, Q.T., Verboven, P., Verlinden, B. and Nicolai, B.M. 2007. Review: Browning disorders in pear fruit. *Postharvest Biology and Technology* 43:1-13. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521406002109>
- Gaona-García, A., Alia-Tejagal, I., López-Martínez, V., Andrade-Rodríguez, M., Colinas-León, M.T. and Villegas-Torres, O. 2008. Caracterización de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota*) en el suroeste del estado de Morelos. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14: 41-47. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v14n1/v14n1a6.pdf>
- Kays, J.S. and Paull, R.E. 2004. *Postharvest Biology*. GA, USA. Editorial Exon Press. 568 p.p. http://www.golgeon.com/EXONPRESS/postharvest_biology.html
- Ketsa, S. and Atantee, S. 1998. Phenolics, lignin, peroxidase activity and increased firmness of damaged pericarp of mango-steen fruit after impact. *Postharvest Biology and Technology* 14: 117-124. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092552149800026X>
- Knee, M. and Miller, R. 2002. Mechanical Injury. En: Knee M. *Fruit Quality and its Biological Basis*. CRC Press 157-179. <https://www.crcpress.com/Fruit-Quality-and-its-Biological-Basis/Knee/p/book/9780849397813>
- Laminkanra, O. 1995. Enzymatic browning of muscadine grapes products. En: Lee C L, Whitaker JR. *Enzymatic browning and its prevention*. Washington: ACS, 166-177 pp. <https://global.oup.com/academic/product/enzymatic-browning-and-its-prevention-9780841232495?cc=mx&lang=en&>

- Martínez, M.A., Alia, T.I. and Colinas, L.M.T. 2006. Refrigeración de frutos de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn] cosechados en diferentes fechas en Tabasco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29 (Núm. Especial 2): 51-57. <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/29-2%20Especial%202/9r.pdf>
- Martínez, R.D., Serrano, M., Carbonell, A., Castillo, S., Riquelme, F. and Valero, D. 2004. Mechanical damage during fruit postharvest handling: Technical and physiological implications. En: Dris R, Jain SM. *Production Practices and Quality Assessment of Food Crops*. Vol. 3. Quality, Handling and Evaluation. The Netherlands: Kluwer Academia Publisher 233-252 pp.
- McLeod, P.F., Kader, A.A. and Morris, L.L. 1976. Stimulation of ethylene and CO₂ production of mature-green tomatoes by impact bruising. *HortScience* 11(6): 604-606. <http://ucanr.edu/datastoreFiles/234-439.pdf>
- Mohsenin, N.N. 1970. Applications of engineering techniques to evaluation of texture of solids food materials. *Journal of Texture Studies* 1(2): 133-134. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1745-4603.1970.tb00719.x/abstract>
- Morton, J.F. 2013. *Fruit of Warm Climates*. Creative Resources Systems. Florida: Editorial Echo, 517 p. <https://hort.purdue.edu/newcrop/morton/index.html>
- Pennington, T.D. and Sarukhán, J. 2005. *Árboles tropicales de México*. Manual para la identificación de las principales especies. Segunda edición. Ciudad de México: Editorial Universidad Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica. 523 p. <https://www.elfondoonlinea.com/Detalle.aspx?ctit=061015R>
- Pérez, L.A., Villaseñor, P.C.A., Cano, V.A., Rangel, F.D.M., Alia, T.I. and Colinas, L.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(2): 119-125. https://chapingo.mx/revistas/inagbi/contenido.php?id_articulo=693&id_revistas=6&id_revista_numero=66&html=MTIzMw
- Samin, W. and Banks, N.H. 1993. Color changes in apple bruises over time. *Acta Horticulturae* 343: 304-306. http://www.ishs.org/ishs-article/343_73
- SAS. SAS/STAT Users Guide: Statics, Ver. 9.00. 2002. SAS Institute Inc. Cary, North Caroline, USA.
- Singh, K.K. and Reddy, B.S. 2006. Post-harvest physico-mechanical properties of orange peel and fruit. *Journal of Food Engineering* 73(2): 112-120. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877405000531>
- Steffens, J.C., Harel, E. and Hunt, M.D. 1994. Polyphenol oxidase. En: Ellis BE, Kuroki GW, Stafford HA. *Genetic Engineering of Plant Secondary Metabolism*. New York, Plenum Press. 276-304.
- Thompson, A.K. 2003. *Fruit and Vegetables. Harvesting, Handling and Storage*. Oxford: Editorial: Blackwell Science, 460 p. <http://www.springer.com/la/book/9780412408304>
- Tucker, G.A. 1993. Introduction. En: Seymour B.G, Taylor J.E., Tucker AG. *Biochemistry of Fruit Ripening*. London: Chapman & Hall, 1-55 pp. <http://www.springer.com/la/book/9780412408304>
- Van-Zeebroeck, M., Van, L.V., Ramon, H., De Baerdemaeker, J., Nicolai, B.M. and Tijskens, E. 2007. Review Impact damage of apples during transport and handling. *Postharvest Biology and Technology* 45(2): 157-167. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521407000798>
- Wang, J. and Constabel, C.P. 2004. Three polyphenol oxidases from Hybrid poplar are differentially expressed during development and alter wounding and elicitor treatment. *Physiologia Plantarum* 122: 344-353. [http://web.uvic.ca/~cpc/reprints/Wang%26Constabel2004\(PPO\).pdf](http://web.uvic.ca/~cpc/reprints/Wang%26Constabel2004(PPO).pdf)
- Waterman, P.G. and Mole, S. 1994. *Analysis of Phenolic Plant Metabolites*. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 238 pp. <http://catalogue.nla.gov.au/Record/130736>

Cite this paper/Como citar este artículo: Pérez-López, A., Alia-Tejagal, I., Cano-Vázquez, A., Rangel-Fajardo, D.M., Valle-Guadarrama, S., Villaseñor-Perea, C.A., López-Blancas, E., Pérez-Arias, G.A. (2017). Color and oxidative stress in the maturation of sapote mamey (*Pouteria sapota*) previous mechanical compression. *Revista Bio Ciencias* 4(3): 189-201. <http://editorial.uan.edu.mx/BIOCIENCIAS/article/view/235/267>

