

COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y FISIOLÓGICO DE FRUTOS DE ZAPOTE MAMEY [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. MOORE & STEARN] BAJO COMPRESIÓN

MECHANICAL AND PHYSIOLOGICAL BEHAVIOR OF MAMEY ZAPOTE FRUITS [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn] UNDER COMPRESSION

Artemio Pérez López^{1,*}; Carlos Alberto Villaseñor Perea², Anaíd Cano Vázquez¹, Dulce María Rangel Fajardo¹, Irán Alia Tejacal⁴, María Teresa Colinas León³

¹Departamento de Ingeniería Agroindustrial, ²Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola y ³Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México-Texcoco, km 38.5 C. P. 56230, Texcoco, MÉXICO.

⁴Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad 1001, Cuernavaca, Morelos, MÉXICO. Correo-e: aperezl.dia@gmail.com (*Autor responsable)

RESUMEN

Se evaluaron tres distancias de compresión axial: límite elástico (5.7 mm), punto de biocedencia (12.9 mm) y punto de ruptura (13.2 mm) en frutos de zapote mamey con forma redonda y lanceolada, cosechados en madurez fisiológica determinando su influencia en los cambios fisiológicos, químicos y físicos del fruto en maduración. Se determinó el comportamiento mecánico de los frutos y la producción de etileno, CO₂, pérdida de peso, firmeza, sólidos solubles totales (SST) y acidez titulable. Se observó una mayor tasa de respiración y producción de etileno en los frutos lanceolados comprimidos al punto de biocedencia. Las pérdidas de peso fueron mayores, independientemente de la forma del fruto, en aquellos donde se realizó la compresión; asimismo, la pérdida de firmeza y acumulación de SST y acidez titulable se atribuyen a un proceso de aceleración inducida por la maduración.

Palabras clave adicionales: Pérdida de peso, respiración, producción de etileno, sólidos solubles totales, daño mecánico.

ABSTRACT

Round and lanceolated shaped zapote mamey fruits were axially compressed in order to evaluate the influence of a potential mechanical damage on physical (weight loss and firmness), chemical (total soluble solids and titled tartness) and physiological parameters (ethylene and CO₂) during ripeness. Three axial compression distances were evaluated: elastic limit, bioyield point and point of rupture. It was found that lanceolated fruits compressed to the bioyield point had the highest respiration rate and ethylene production. No influence of fruit shape was found in weight loss, firmness, and accumulation of total soluble solids, and titled tartness. In all the cases, compression accelerated the ripeness process.

Additional key words: Weight loss, respiration, ethylene production, total soluble solids, mechanical damage. a, rice, soil salinity, subsurface drainage.

INTRODUCCIÓN

El zapote mamey tiene demanda en el mercado nacional e internacional por sus excelentes cualidades nutricionales y sensoriales (Saucedo-Veloz *et al.*, 2001); la información actual indica que después de la cosecha el fruto presenta una alta tasa de respiración (Díaz-Pérez *et al.*, 2000) y producción de etileno (Alia-Tejacal *et al.*, 2005). Este comportamiento muestra su metabolismo acelerado en postcosecha, lo que ocasiona una rápida senescencia. Existe poca investigación en cuanto al manejo del árbol en el huerto, por lo que la mayoría de las huertas en producción tienen árboles con alturas superiores a 20 m (CONAFRUT, 1974), y así los frutos de zapote mamey están expuestos a los daños mecánicos desde la cosecha, además de que el poco conocimiento de su manejo en el transporte ocasiona diferentes condiciones de estrés. Generalmente los frutos se

envasan en sacos de plástico o cajas de madera con excesiva cantidad de fruta, lo que además de los daños mecánicos eleva la temperatura del fruto y acelera su maduración. Se han realizado investigaciones indicando que desde la cosecha hasta llegar a los centros de distribución, los frutos son manipulados y golpeados hasta en cinco ocasiones (Alia-Tejacal *et al.*, 2007), lo cual origina zonas oscurecidas que dan una apariencia y una corta vida de anaquel como producto fresco (Kays y Paull, 2004). Díaz-Pérez *et al.* (2001) indican que no existe manejo postcosecha adecuado del zapote mamey.

El estrés mecánico físico en los frutos, como la fricción, el impacto y la compresión, representan una de las fuentes más importantes para la pérdida de calidad durante postcosecha (Kays y Paull, 2004). En el zapote mamey la compresión es el

daño mecánico más común y se provoca después de la cosecha al colocar los frutos en costales o cajas para su transporte y una vez en la bodega de selección y maduración, donde son apilados. El daño por compresión puede aparecer cuando la fuerza que se aplica sobre el producto rebasa el umbral elástico del mismo (Thompson, 2003), y generalmente esto ocurre durante el transporte y almacenamiento (Kays y Paull, 2004). Las propiedades mecánicas de productos hortofrutícolas sometidos a la acción de una fuerza, son básicas para obtener información importante en el diseño de equipos de clasificación, empaques y contenedores. Sin embargo, cuando se intenta relacionar propiedades mecánicas, producto del estrés al que fue sometido el fruto, con la respuesta fisiológica del mismo durante su proceso de maduración, la información es escasa. Villaseñor-Perea *et al.* (2006) encontraron correspondencia directa entre la velocidad de respiración y la producción de etileno en frutos de melón (*Cucumis melo* L.) con el nivel de deformación, por la carga de compresión aplicada, lo que se tradujo en una rápida senescencia del fruto.

Considerando la ausencia de reportes en la literatura sobre los daños mecánicos del zapote en postcosecha, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el comportamiento postcosecha de frutos de zapote mamey sometidos a dos niveles de compresión, con la finalidad de generar información que indique la carga máxima permisible que soporta el fruto sin que muestre cambios significativos en su calidad y tiempo de vida útil; y así proponer condiciones mínimas de manejo del fruto que disminuyan las pérdidas postcosecha.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se cosecharon frutos de zapote mamey en madurez fisiológica provenientes de árboles criollos en Coatlán del Río, Morelos, utilizándose el índice de cosecha aplicado por los productores; esto es, se elimina una pequeña porción de la epidermis del fruto y si la coloración de la pulpa es anaranjada el fruto alcanzará la madurez de consumo (Alia-Tejacal *et al.*, 2005; Martínez-Morales *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 mecánicas y fisiológicas, respectivamente. Los frutos fueron dispuestos por 24 h a las condiciones de laboratorio, 20 ± 2 °C; 50-60 % de HR, antes de iniciar las pruebas mecánicas y posteriormente las fisiológicas.

Se estudió el efecto de la forma del fruto: redondo o lanceolado, y tres diferentes niveles de compresión axial: sin compresión (T), compresión hasta límite elástico (LE) y compresión hasta punto de biocedencia (PB); la combinación de los factores originó seis tratamientos. Para esto se utilizó una máquina universal de ensayos mecánicos INSTRON (*Universal Testing Machine*), modelo 4469, USA., con una velocidad de cruceta de $50 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ y una celda de carga de 500 N (Villaseñor-Perea *et al.*, 2006). Se determinó la carga de compresión (kN), porcentaje de deformación lateral del fruto por el esfuerzo

aplicado y el módulo de Young (MPa) siguiendo la metodología reportada por Villaseñor-Perea *et al.* (2006). Estos parámetros se calcularon con el Software de Aplicación de Ensayo de Materiales serie IX de INSTRON versión 7.25.00 (INSTRON, 1995). Para el cálculo del módulo de Young y el porcentaje de deformación del fruto se consideró en el software una geometría esférica y se introdujo el valor de la distancia entre los platos de compresión y del diámetro ecuatorial del fruto colocado en la posición horizontal.

Las pruebas fisiológicas y fisicoquímicas se realizaron a una temperatura de 24 ± 2 °C y 50-60 % de HR.

Variabes no destructivas. Las tasas de respiración y de producción de etileno se evaluaron mediante un método estático. Dos frutos de zapote mamey se colocaron en recipientes herméticos durante una hora; después se tomó una muestra de 7 mL de gas del espacio libre con una jeringa de plástico y se colocó en un tubo Vacutainer® de igual volumen y se almacenó a -20 °C hasta su evaluación (Alia-Tejacal *et al.*, 2005). Se tomó 1 mL del gas y se inyectó al cromatógrafo de gases (Varian Star 3400CX, USA). Las temperaturas de la columna, del inyector y del detector fueron de 80, 150, y 170 °C, respectivamente. Se utilizó helio como gas de arrastre con un flujo de $32.3 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$. La unidad experimental consistió en 2 frutos con 5 repeticiones. Diariamente se pesaron diez frutos de forma individual en una balanza digital, y se reporta el porcentaje de pérdida de peso acumulado con respecto al día inicial (Alia-Tejacal *et al.*, 2005).

Variabes destructivas. Se realizaron evaluaciones destructivas a los 0, 3, 6 y 9 d después de la aplicación de los tratamientos de compresión; se determinó la firmeza, los sólidos solubles totales y la acidez titulable de la pulpa del fruto. Para determinar la firmeza del fruto, se retiró una porción de la cáscara en dos lados opuestos de la parte ecuatorial del fruto se utilizó un Texturómetro Chatillon® con puntal cónico de 0.7 cm en la base. Los valores se reportaron en newtons.

Para determinar la acidez titulable se utilizó un método de titulación con hidróxido de sodio, propuesto por la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1980); para esto, se tomaron 10 g de pulpa de mamey y se maceraron con 50 mL de agua destilada; el homogenizado se filtró y del sobrenadante se tomaron 25 mL y se agregó NaOH 0.1 N, hasta que la solución alcanzara un pH de 8.2. La acidez se expresó como porcentaje de ácido málico. Para determinar los sólidos solubles totales, una gota del sobrenadante se colocó en un refractómetro digital marca ATAGO® mod. PAL 1 y se tomó la lectura; los resultados se expresaron en porcentajes.

Los datos se analizaron conforme un diseño experimental de tipo completamente al azar con arreglo factorial. Se realizó un análisis de varianza; cuando se detectaron diferencias significativas entre los niveles de los factores, se realizó comparación de medias con la prueba de Diferencia Mínima Significativa a un $P \leq 0.05$. Se presentan gráficos de las variables evaluadas donde se muestra la media de las observaciones + error estándar (Sigmaplot, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades mecánicas de los frutos de zapote mamey

Carga de compresión. El análisis estadístico no detectó diferencias entre los frutos lanceolados y redondos en la carga de compresión, pero no así para alcanzar el límite elástico, el punto de biocedencia y el punto de ruptura, donde los valores fluctuaron entre 0.52 y 1.92 kN (Cuadro I). La interacción de los factores forma del fruto y nivel de compresión fueron significativos, de esta manera los frutos redondos se deforman más rápidamente al punto de ruptura y para esto requieren menos fuerza.

Cuadro 1. Interacción entre los tipos de forma del fruto y desplazamiento de la cruceta del equipo en variables mecánicas del fruto de zapote mamey almacenado a temperatura ambiente (20 ± 2 °C).

Factor	Carga de compresión (kN)	Deformación (%)	Módulo de Young (MPa)
Forma del fruto (FF)			
Redondo	1.03 az	11.07 b	0.94 b
Lanceolado	1.07 a	12.32 a	1.16 a
DMS	0.05	0.17	0.06
Nivel de Compresión (NC)			
Límite elástico	0.52 a	7.27 c	0.84 c
Compresión a punto de biocedencia	1.33 b	13.91 b	1.06 b
Compresión a punto de ruptura	1.92 c	19.17 a	1.73 a
DMS	0.08	0.25	0.08
CV (%)	17.0	4.8	18.6
FF*NC	9.67***	16.48***	21.66***

^z Medias con letra diferente, dentro de columnas, indican diferencia significativa de acuerdo a la prueba de Tukey con una $P \leq 0.05$. DMS: diferencia mínima significativa. C.V.: coeficiente de variación. Los símbolos *** indican interacción significativa a una $P \leq 0.001$.

Deformación porcentual. Se detectó que la forma del fruto y el nivel de compresión afectan el porcentaje de deformación del fruto (Cuadro I). Los frutos lanceolados tuvieron valores de 7.74, 14.8 y 19.4 % al llegar al límite elástico, punto de biocedencia y punto de ruptura, respectivamente; por esto los frutos lanceolados son más susceptibles a la deformación que los frutos redondos (Cuadro 1), y el porcentaje de deformación se incrementa significativamente al intensificar el nivel de compresión. La característica de resistencia a la compresión de frutos se atribuye a varios factores, entre los que se citan: la densidad, el grosor de la pulpa, el grosor de la cáscara, la variedad y el estado de madurez del fruto (ASAE, 2005). En el presente trabajo se seleccionaron frutos con un estado de madurez homogéneo, por lo que probablemente el factor variedad (forma del fruto) fue determinante en los resultados encontrados. Conviene también destacar que las distancias en que se localizan el límite elástico, el punto de biocedencia y el punto de ruptura son diferentes para cada fruto (Mohsenin, 1979).

Módulo de Young. De acuerdo con Cheng *et al.* (1987), un valor alto en el módulo de Young indica una mayor resistencia del fruto a la carga de compresión. Por tanto, los frutos de zapote

mamey lanceolados mostraron mayor resistencia a la compresión, a partir del punto de biocedencia; esto se observa con valores de 1.24 (LE) y 1.86 MPa; (PB) en el módulo de Young, en tanto que los frutos redondos los valores fueron de 0.84 y 1.60 MPa, respectivamente. Villaseñor-Perea *et al.* (2006) reportan en melón (*Cucumis melo* L.) valores de 0.21, 0.31 y 0.38 MPa de módulo de Young para alcanzar el LE, PB y PR, respectivamente. Se observa que la resistencia que ofrece el fruto de zapote mamey a la compresión está relacionada con un incremento en la carga requerida para su deformación. Por otra parte, en el umbral fisiológico de deterioro (punto de biocedencia) los frutos redondos requirieron una carga de compresión hasta de 1.30 kN y su deformación fue de 13.01 %, mientras que en los frutos lanceolados para alcanzar estas mismas condiciones se requirieron valores de 1.35 kN de carga y se deformaron hasta el 14.82 %, respectivamente (Cuadro I). Particularmente en el fruto de zapote mamey, cuando éste es sometido a alguna condición de estrés mecánico, difícilmente se le pueden detectar daños a simple vista por el tipo de cáscara que tiene; sin embargo, la pulpa se torna oscura una vez que el fruto alcanza la madurez de consumo, lo cual es indeseable. Por tanto, esta respuesta concuerda con lo que menciona Mohsenin (1979) respecto de que cualquier adición de carga y/o deformación después del punto de biocedencia, significa que existe una ruptura interna de tejidos en el fruto que probablemente ocasiona oscurecimiento del mismo. Las condiciones de estrés mecánico en el fruto pueden provocarse cuando éste es almacenado a granel después de la cosecha y durante su transporte al mercado de consumo, al ser empacados en costales o en cajas de madera.

VELOCIDAD DE RESPIRACIÓN Y PRODUCCIÓN DE ETILENO

Los frutos de zapote mamey presentan el típico patrón respiratorio climatérico con un máximo de producción de bióxido de carbono y etileno después de ocho y seis días de cosechados (Díaz-Pérez *et al.*, 2000; Alia-Tejacal *et al.*, 2005), lo cual fue similar en el presente trabajo (Figura 1). No se detectaron diferencias en la velocidad de respiración y producción de etileno por la forma del fruto; no así en los niveles de compresión. Así, los frutos comprimidos hasta límite elástico y punto de biocedencia mostraron mayor tasa de respiración (Figura 1 A y B), y además alcanzaron el máximo de respiración (130 – 140 mg·kg⁻¹·h⁻¹) un día antes en los frutos lanceolados (Figura 1 A). Kader y Salveit (2003) indican que el estrés físico incrementa la respiración. Villaseñor-Pérez *et al.* (2006) determinaron una mayor velocidad de respiración en frutos de melón (*Cucumis melo* L.) comprimidos al punto de biocedencia. Se ha indicado que las células bajo estrés tienen alta demanda de hexosas para generar los requerimientos de energía y proveer esqueletos de carbono para la síntesis de compuestos de respuesta (Sturm y Crispeels, 1990); la respiración es el proceso por el cual se libera energía (Miller, 2003).

La producción de etileno fue afectada significativamente en los frutos por el nivel de compresión, ya que los frutos sometidos a esta compresión adelantaron un día el climaterio (Figura 2) y fueron diferentes ($P \leq 0.05$). Yang y Hoffman (1984) mencionan que un síntoma inicial de la incidencia de daños físicos o condiciones de estrés en tejidos vegetales, es el incremento en la síntesis del ácido aminociclopropano 1 carboxílico y su oxidación a etileno. En tomate (*Lycopersicon esculentum*) se ha determinado que el incremento en la velocidad y producción de etileno es proporcional a la severidad del daño (MacLeod *et al.*, 1976); se reconoce que existe una relación inversa entre las velocidades de respiración y la vida postcosecha del producto hortícola; si hay una mayor velocidad de respiración el producto es más percedero (Kader y Salveit, 2003). Lo anterior indica que la compresión axial de frutos de zapote mamey al punto de biocedencia disminuye su vida útil.

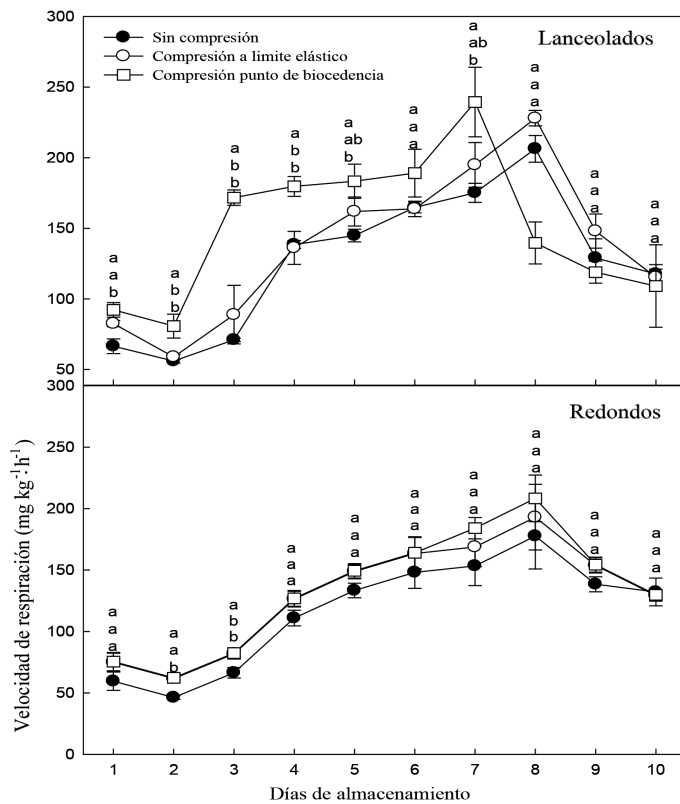


Figura 1. Velocidad de respiración de frutos de zapote mamey después de ser sometidos a diferentes niveles de compresión axial. Cada punto representa la media de 5 observaciones. Las barras asociadas a los promedios representan error estándar. Las letras indican diferencia significativa entre los niveles de compresión de acuerdo a la prueba de Tukey con una $P \leq 0.05$.

PÉRDIDAS DE PESO

Los frutos de zapote mamey utilizados como testigo con forma lanceolada y redonda alcanzaron la madurez de consumo después de seis y nueve días; en este periodo las pérdidas acumuladas fueron de 12.8 y 15.6 %, respectivamente (Figura 2). Se reporta en frutos de zapote mamey que la rapidez con que

ocurre la maduración está relacionada también con una pérdida acelerada de agua (Díaz-Pérez *et al.*, 2000), y las pérdidas de masa de 15 % no afectan significativamente la apariencia externa del fruto; no así la pulpa del fruto, que se torna opaca y muy suave (Alia-Tejacal *et al.*, 2007). Se reportan pérdidas de peso diarias entre 0.58 y 1.83 %, en dependencia de la temperatura de almacenamiento (Díaz-Pérez *et al.*, 2000). En el presente trabajo las pérdidas fueron de 1.7 % en los frutos lanceolados y 2.3 % en los frutos redondos; sin embargo, no se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) por la forma del fruto. Para mantener la máxima vida útil del producto en postcosecha, el contenido de humedad del producto se debe mantener al nivel óptimo (Ben-Yeshoua y Rodov, 2003).

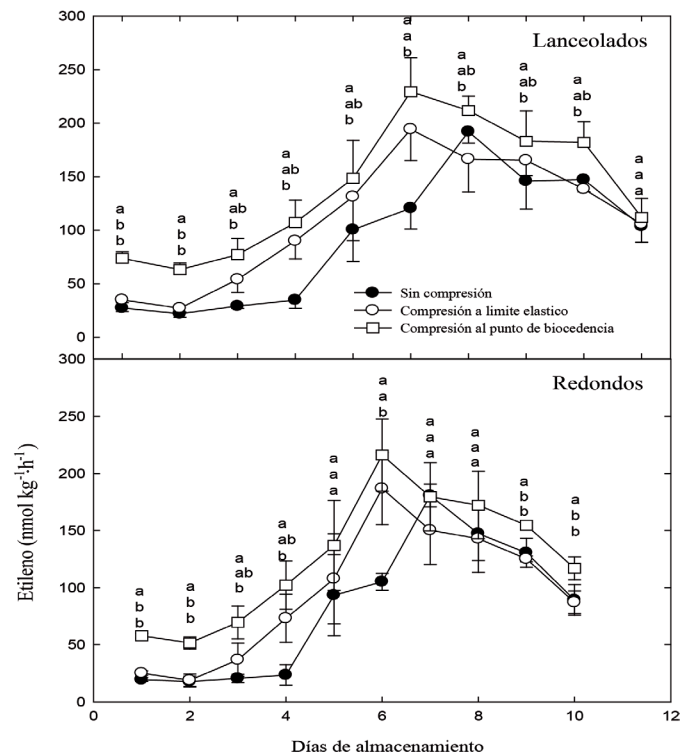


Figura 2. Producción de etileno de frutos de zapote mamey asociados después de ser sometidos a diferentes niveles de compresión axial. Cada punto representa la media de 5 observaciones. Las barras asociadas a los promedios representan error estándar. Las letras indican diferencia significativa entre los niveles de compresión de acuerdo a la prueba de Tukey con una $P \leq 0.05$.

La compresión al límite elástico incrementó las pérdidas de peso entre 13 y 15 % más con respecto a los frutos comprimidos al límite elástico y aquellos donde no se realizó la compresión mecánica (Figura 3). En melón la compresión al límite elástico en la posición vertical del fruto ocasionó las mayores pérdidas de peso (Villaseñor-Perea *et al.*, 2006). Los frutos se comportan como cuerpos elásticos, pues regresan a su forma original después de una deformación temporal; sin embargo, en grandes periodos de estrés los cambios en la estructura del fruto hacen que los tejidos no regresen a sus dimensiones originales y algo de la energía aplicada se utiliza para ocasionar salida de agua de la célula,

movimiento de células dentro del tejido, arrastre de microfibrillas en la matriz de la pared celular y deformaciones permanentes dentro de la forma de la célula (Knee, 2000); en el zapote mamey es necesario no sobrepasar la compresión al punto de biocedencia para evitar efectos negativos por la pérdida de peso.

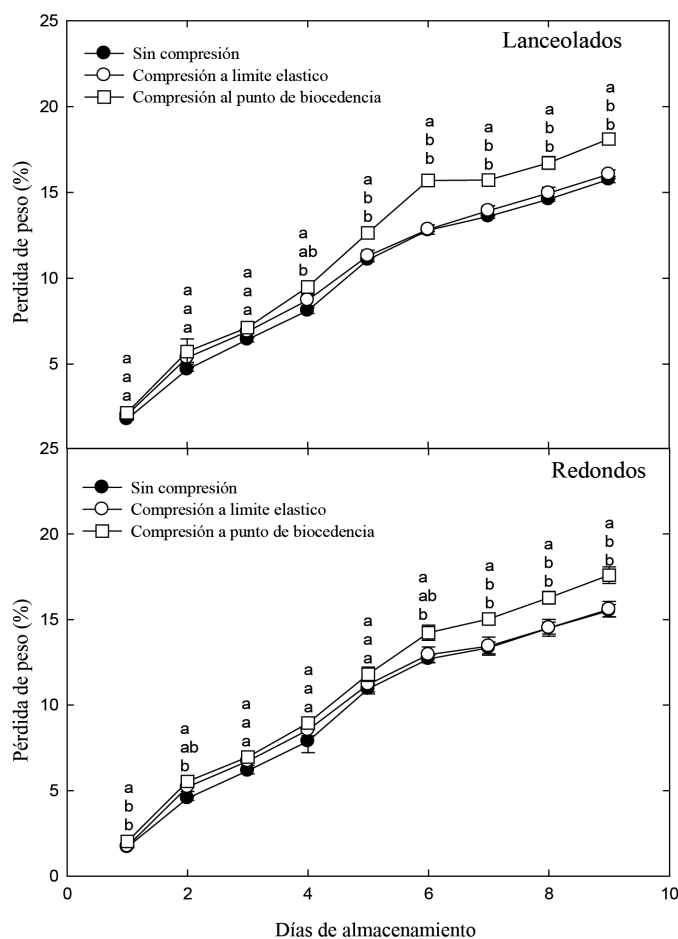


Figura 3. Pérdida de peso en frutos de zapote mamey después de ser sometidos a diferentes niveles de compresión axial. Cada punto representa la media de 10 observaciones. Las barras asociadas a los promedios representan error estándar. Las letras indican diferencia significativa entre los niveles de compresión de acuerdo a la prueba de Tukey con una $P \leq 0.05$.

FIRMEZA

Se detectaron diferencias significativas por la forma del fruto en la firmeza ($P \leq 0.05$): en los frutos de forma lanceolada disminuyó de 55.2 hasta 1.8 N, y en los de forma redonda la disminución fue de 65.6 hasta 30 N (Figura 4 A); se sugiere que la forma del fruto influye en la susceptibilidad al daño por compresión. Se ha detectado que los frutos redondos tienen más semillas que los frutos lanceolados (Morton, 1987; Gaona-García *et al.*, 2007), lo cual pudiera ofrecer más resistencia a la compresión; sin embargo, la porción comestible de pulpa es menor y por lo tanto son de menor calidad para consumo en fresco.

Los frutos comprimidos a límite elástico y punto de biocedencia mostraron valores menores de firmeza que los frutos

testigo, tres días después de realizada la compresión (Figura 4 B), lo que sugiere que esta compresión aceleró la pérdida de firmeza. Arenas-Ocampo *et al.* (2003), reportan que la disminución de la firmeza del fruto de zapote mamey durante la maduración se debe en mayor proporción a un incremento en la actividad de la enzima β -galactosidasa (EC.3.2.1.2.3); se ha reportado en Frambuesa (*Rubus idaeus*) que la actividad de esta enzima es estimulada por la producción de etileno, correlacionando altamente con una menor firmeza, mayor respiración y producción de antocianinas (Iannetta *et al.*, 1999). Anteriormente se ha discutido la mayor producción de etileno por efecto de la compresión; pues bien, es probable que la hormona acelere procesos de la maduración del zapote mamey, como es la pérdida de firmeza.

SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (SST)

Se detectaron diferencias en la concentración de SST por la forma del fruto; los frutos lanceolados mostraron 30 % mayor concentración de SST que los frutos redondos (Figura 4 C); así, los frutos lanceolados alcanzaron 27.4 % de sólidos solubles totales y los redondos 21.8 % en el estado de madurez de consumo (Figura 4 C). Los frutos donde se realizó la compresión hasta el punto de biocedencia mostraron mayor contenido de sólidos solubles totales, en contraste con los frutos comprimidos al límite elástico y sin compresión (Figura 4 D). Los resultados sugieren que el daño mecánico por compresión incrementa los SST, probablemente asociado a una mayor velocidad de maduración como respuesta a la intensidad de la compresión. Anteriormente se ha indicado que el daño mecánico incrementa la producción de etileno, y de esta forma se aceleran algunas rutas metabólicas de maduración relacionadas con la maduración del fruto.

ACIDEZ TITULABLE

Durante la maduración del zapote mamey disminuye la acidez titulable (Alia-Tejacal *et al.*, 2007), lo cual se observó en el presente trabajo (Figura 4 E y F). Los frutos lanceolados mostraron valores menores que los frutos redondos (Figura 4 E), y los frutos comprimidos al punto de biocedencia tuvieron menor acidez titulable que aquellos comprimidos al límite elástico y sin compresión (Figura 4 F). Los ácidos orgánicos disminuyen durante la maduración debido a que son utilizados en la respiración o convertidos a azúcares (Wills *et al.*, 1998); es probable que al existir mayor velocidad de respiración y acumulación de azúcares totales en los frutos sometidos a la compresión, estos tengan menor concentración de ácidos orgánicos.

CONCLUSIONES

Los frutos de zapote mamey lanceolados, en estado de madurez fisiológica, alcanzan una carga de compresión máxima de 2.1 kN al momento de la ruptura, mientras los redondos alcanzan 1.9 kN. Asimismo, la deformación es mayor (14.82 %)

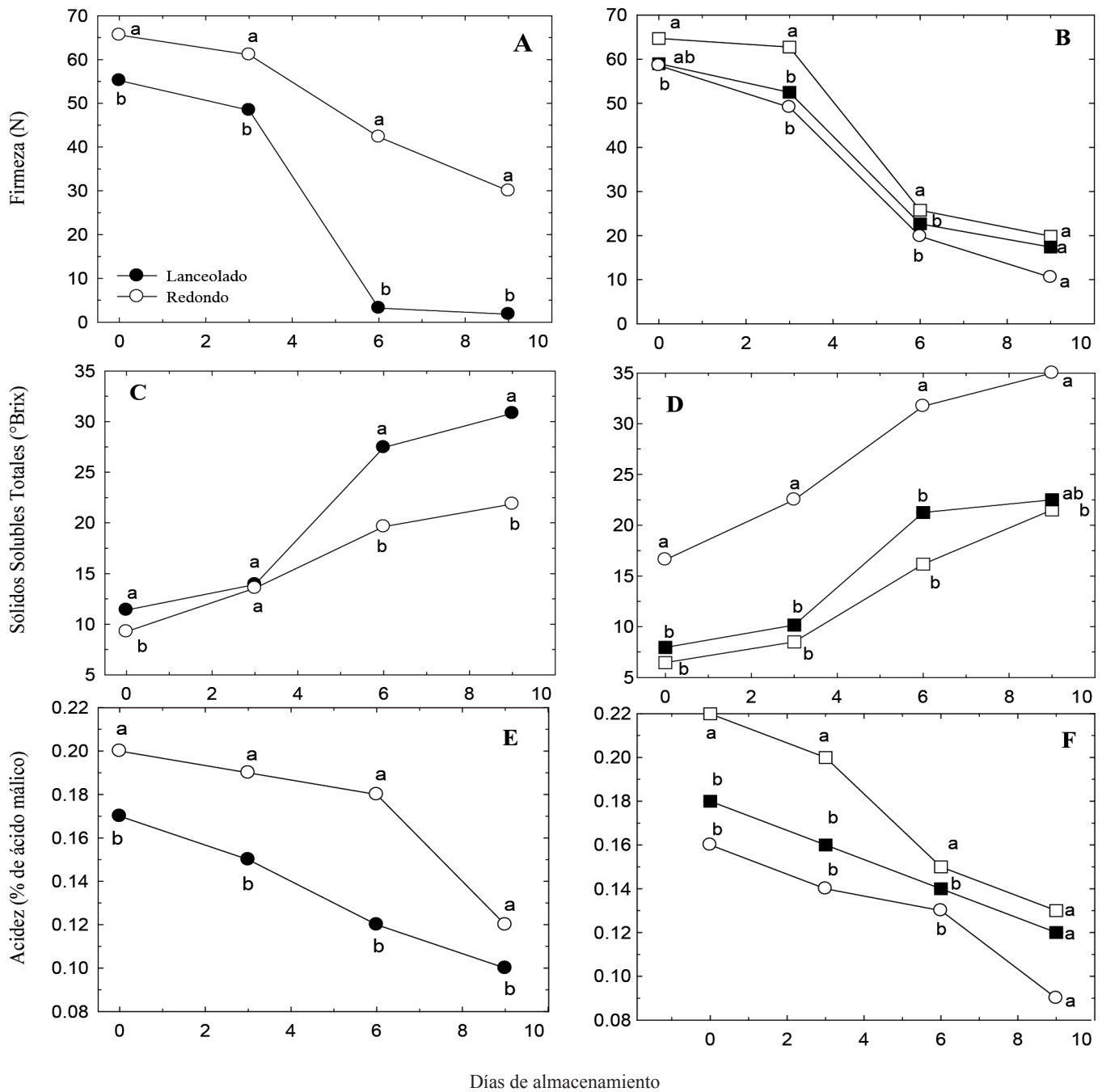


Figura 4. Firmeza (A, B), sólidos solubles totales (C, D) y acidez titulable (E, F) de frutos de zapote mamey sometidos a diferentes niveles de compresión. Cada punto representa la media de los factores. Las letras indican diferencia significativa entre factores de acuerdo a la prueba de Tukey con una $P \leq 0.05$.

en los lanceolados en comparación con los redondos (13.01 %). La carga de compresión hasta el límite elástico del fruto es de 0,49 N para los de forma lanceolada y de 0.55 N para los frutos redondos. Una carga de compresión superior a este valor se traduce en incrementos en la velocidad de respiración y producción de etileno que consecuentemente aceleran la entrada del fruto a la senescencia. Los frutos de zapote mamey comprimidos a punto de biocedencia, maduraron entre 1 y 2 días antes que los comprimidos a límite elástico y sin comprimir.

LITERATURA CITADA

- Alia-Tejagal I.; Colinas-León M. T.; Martínez-Damián M. T.; Soto-Hernández R.M. 2005. Daños por frío en zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn). Rev. Fitotecnia Mexicana. 28: 17-24.
- Alia-Tejagal 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.

- Arenas-Ocampo M.; Evangelista-Lozano S.; Arana-Erassquín R.; Jiménez-Aparicio A.R.; Dávila-Ortiz 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.
- ASAE Standard. 2005. Compression Test of Food Materials of Convex Shape. ASAE S368.4 DEC00.
- Ben Y. S.; Rodov V. 2003. Transpiration and Water Stress. In: *Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables*. Bartz J. A., J. K. Brecht. Marcel Dekker. New York, USA. pp: 177-208.
- Cheng T. S.; Shew Felt R.L. 1987. Effect of chilling exposure of tomatoes during subsequent ripening. *Journal of Food Science*. 4: 160-1167.
- CONAFRUT. 1974. El cultivo del mamey. Serie de divulgación. Folleto No. 14. México.
- Díaz-Pérez J. C.; Bautista-Baños S.; Arenas M.; Evangelista S.; Arce R. 2001. Respuestas de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn) al aplicar etileno exógeno durante postcosecha. *Rev. Hortscience* 32: 496.
- Díaz-Pérez J. C.; Bautista-Baños S.; Villanueva-Arce R. 2000. Quality changes in zapote mamey fruit during ripening and storage. *Postharvest Biol. Technol.* 18: 67-73.
- Gaona G. A.; Alia-Tejacal I.; López-Martínez V.; Andrade-Rodríguez, M.; Colinas-León M. T.; Villegas-Torres O. 2005. Caracterización de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota*), en la región suroeste del estado de Morelos. *Rev. Chapingo S. Horticultura*. En prensa.
- Iannetta P. P. M.; Van Den J.B.; Wheatley R. E.; McNicol R. J.; Davies H.V. 1999. The role of ethylene and cell wall modifying enzymes in raspberry (*Rubus idaeus*) fruit ripening. *Physiologia Plantarum* 105: 338-247.
- Instron 1995 Manual de referencia. Software Instron serie IX. Illinois Tool Works Inc. USA. 70 p.
- Kader A.; Salveit M.E. 2003. Respiration and gas exchange. In: *Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables*. Bartz J.A.; J.K. Brecht. Marcel Dekker. New York, USA. pp: 7-29.
- Kays S. J.; Paull R. E. 2004. *Postharvest Biology*. Exon Press. GA, USA. 568 p.
- Knee M. 2002. *Fruit Quality and Its Biological Basis*. CRC Press. USA.
- MacLeod R. F.; Kader A. A.; Morris L. L. 1976. Stimulation of ethylene and CO₂ production of mature-green tomatoes by impact bruising. *HortScience* 11: 604-606.
- Martínez-Morales A.; Alia Tejacal I.; Colinas-León 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.
- Miller R. A. 2003. Harvest and Handling Injury: Physiology, Biochemistry, and Detection. In: *Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables*. Bartz J.A.; J. K. Brecht. Marcel Dekker. New York, USA. pp: 177-208.
- Mohsenin N.N. 1979. Applications of engineering techniques to evaluation of texture of solid food materials. *Journal of Texture Studies* 1(2):133-134.
- Morton J. F. 1987. *Fruit of Warm Climates*. Creative Resources Systems, Inc. N. C., USA. 505 p.
- Saucedo-Veloz C.; Martínez-Morales A.; Chávez-Franco S.H.; Soto-Hernández M. R. 2001. Maduración de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E.Moore & Stearn). *Rev. Fitotecnia*. Vol. 24 (2): 231-234.
- SigmaPlot. 2004. SigmaPlot 2004 V 0.0. Systat Software Inc., Point Richmond, Calif.
- Sturm A.; Chrispeels M. J. 1990. DNA cloning of carrot extracellular b-fructosidase and its expression in response to wounding and bacterial infection. *Plant Cel* 2: 1107-1119.
- Thompson A.K. 2003. *Fruit and Vegetables. Harvesting, Handling and Storage*. Blacwell Publishing. Kent, UK. 460 p.
- Villaseñor-Perea C. A.; Chávez-Franco S. H.; Saucedo-Veloz C.; Salazar-Zazueta A.; Landois-Palencia L. L.; Hernández G.L. 2006. Comportamiento mecánico y fisiológico de frutos de melón (*Cucumis melo* L.) bajo compresión axial. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29: 157-162.
- Yang S.E.; Hoffman N.E. 1984. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol*. 35: 155-189.