



Propiedades mecánicas y respuesta fisiológica de frutos de chicozapote bajo compresión axial

Mechanical properties and physiological answer of sapodilla fruits under axial compression

Vicente López Bautista¹, Carlos Alberto Villaseñor Perea² y Artemio Pérez López³

RESUMEN. Los daños mecánicos constituyen una de las principales causas de pérdidas postcosecha de los productos hortofrutícolas. Los frutos de chicozapote (*Manilkara zapota* L. P. Royen), son muy perecibles, susceptibles a daño mecánico y ataque de patógenos durante la postcosecha. Se analizó el comportamiento fisiológico y mecánico bajo compresión axial con un equipo Instron Universal Testing Machine 3382, con capacidad de 100 kilo Newton y una velocidad de cruceta de 20 mm/ minuto. Los platos paralelos comprimieron una sola vez el fruto, registrándose una curva fuerza-deformación para cada fruto evaluado, en el análisis se utilizaron dos tipos de fruto (I y II), dos posiciones de compresión y tres desplazamientos de cruceta. La evolución de la actividad respiratoria, y producción de etileno fueron determinadas durante cinco días, variables mecánicas fueron obtenidas a partir de la prueba para cada fruto. Los dos tipos mostraron sensibilidad fisiológica a la aplicación de cargas (daño mecánico). La producción de etileno y la velocidad de respiración se incrementaron significativamente por la carga aplicada en la posición vertical, lo que aceleró la senescencia. Con los resultados obtenidos, se puede inferir que los parámetros mecánicos para protección de los frutos en cosecha, transporte y almacenamiento, deben ser basados en el comportamiento de los frutos a compresión en la posición horizontal, con el segundo desplazamiento de cruceta, si la compresión puede ser reducida por abajo de los umbrales antes referidos, sería posible reducir los niveles de daño y por consiguiente presentar un fruto fresco de calidad.

Palabras clave: *Manilkara zapota*, compresión, etileno, respiración.

ABSTRACT. The mechanical damages constitute one of the principal causes of losses post-harvest of fruits and vegetables. Sapodilla fruits (*Manilkara zapota* L. P. Royen) are very perishable susceptible to mechanical damage and attack of pathogenic during the post-harvest. It was Examined the physiological behavior and mechanic under axial compression with an Instron Universal Testing Machine 3382, with capability of 100 kilo Newton and a velocity of crossbeam of 20 mm/ minute. The parallel plates compressed the fruit once only, checking a curve force-deformation for each fruit evaluated, in analysis were used two types of fruit (I and II), two positions of compression and three displacements of crossbeam. The evolution of the respiratory activity, and production of ethylene were determined during five days, mechanical variables were gotten from test for each fruit. The two types of sapodilla showed physiological sensibility to the application of external loads (mechanical damage). The production of ethylene and the velocity of respiration increased significantly for the load applied at the vertical position, which accelerated the deterioration. With the obtained results, it can be inferred than the mechanical parameters for protection of the fruits in harvest, transportation and storage, they should be based in the behavior of the fruits to compression at the horizontal position, with the second displacement of crossbeam, if compression can be reduced for down the doorsteps before referred, it would be possible to reduce the levels of damage and consequently showing a fresh fruit of quality.

Keywords: *Manilkara zapota*, compression, ethylene, respiration.

INTRODUCCIÓN

Las lesiones mecánicas en frutos, durante el manejo en la cosecha y postcosecha, son responsables de pérdidas significativas durante la distribución y comercialización. Ellas

afectan directamente la apariencia externa, que es un importante atributo de calidad de las frutas, y es el principal factor de rechazo por el consumidor (Sánchez *et al.*, 2007). Dentro de los daños mecánicos más comunes destacan los causados por impacto, compresión y corte. Las pérdidas postcosecha alcan-

Recibido 19/09/10, aprobado, 12/06/11, trabajo 46/11, investigación.

¹ M.I., doctorante en el Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral Del Agua. Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5 Carretera México -Texcoco, Edo.de México. Tel:01 (595) 95 2 15 51. E-✉: Vicente_729@hotmail.com

² Dr., Prof., Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, Chapingo, Texcoco, México.

³ Dr., Prof. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Chapingo, Texcoco, México.

zan cantidades importantes y los índices estimados pueden alcanzar hasta un 30 % o más de la producción. Esas pérdidas están especialmente relacionadas con productos altamente perecederos (Kasat *et al.*, 2007).

A medida que los frutos sufren daños ocurre un aumento en la liberación de CO₂, pues las células próximas al punto dañado respiraran más intensamente y con ese aumento en la tasa respiratoria existe un incremento en la liberación de etileno acelerando el proceso de maduración y senescencia que disminuye la calidad y vida útil del fruto (Durigan *et al.*, 2007 a). Estudios previos muestran que los daños por compresión en frutos son responsables de aumentos en la actividad respiratoria de melón (Villaseñor *et al.*, 2006), calabacita (Durigan, *et al.*, 2007 a), sandía (Durigan *et al.*, 2007 b), limas ácidas ‘Tahiti’ (Durigan *et al.*, 2005), guayabas Pedro Alto y Paluma (Mattiuz *et al.*, 2001). Khan y Vicent (1993) y Kne (2002) sugieren que la prevención de la magullación, requiere ingeniería antes que investigación biológica. El conocimiento generado a partir de parámetros de ingeniería podría ser útil para decidir en qué posición morfológica se pueden colocar las frutas y hortalizas en los diversos empaques y contenedores con la finalidad de minimizar los daños mecánicos.

Los frutos de chicozapote (*Manilkara sapota* L. P. Royen) tienen un patrón de respiración y de producción de etileno de tipo climatérico que madura en poco tiempo, de 8 a 10 días a 26 °C y 55% HR (Morais *et al.*, 2006). Los estudios sobre este fruto se restringen principalmente a extender su vida de almacenamiento usando bajas temperaturas y atmósferas modificadas (Miranda *et al.*, 2001); también se han realizado estudios probando diferentes concentraciones de 1-MCP (Morais *et al.*, 2006; Morais *et al.*, 2008); alteraciones físicas químicas y fisiológicas durante el almacenamiento (Miranda *et al.*, 2002; Morais *et al.*, 2006); caracterización del proceso de maduración de frutos, Bautista *et al.* (2005) (Gazel, 2002) y otros investigadores han realizado caracterización de plantas de chicozapote.

Los frutos de chicozapote en el estado de madurez de consumo son bastante blandos y muy susceptibles a los daños mecánicos. Daños muy pequeños y superficiales pueden no tener impacto sobre la calidad de consumo pero pueden abrir el medio para el ataque de patógenos. Por tanto, la utilidad del estudio de las propiedades mecánicas de frutos de chicozapote radica en conocer la carga máxima permisible que soporta el fruto sin que se muestren efectos del daño en la fisiología del fruto. Con esta idea en mente se plantean como objetivos de este trabajo: a) evaluar las propiedades mecánicas de dos tipos de chicozapote sometidos a compresión axial dinámica, y b) evaluar la respuesta fisiológica del fruto comprimido durante la maduración a temperatura del ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los frutos de chicozapote empleados en la investigación fueron cosechados de manera manual en noviembre de 2008 en un huerto comercial ubicado en el poblado de Vicente Guerrero, municipio de Buenavista, estado de Michoacán. La cosecha de los frutos se hizo por la mañana según el criterio

empleado por los productores. Estos frutos fueron transportados rápida y cuidadosamente hasta el laboratorio de materiales del Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, de la Universidad Autónoma Chapingo, en cajas de cartón corrugado, forradas con película plástica, tipo bolsa y papel periódico buscando minimizar los daños mecánicos durante el transporte. En el laboratorio los frutos fueron seleccionados en cuanto a su tamaño, sanidad y ausencia de defectos. Los frutos muy grandes y pequeños fueron desechados. Se almacenaron a temperatura de habitación (19 °C) por 24 h antes de las pruebas de compresión.

El material de investigación fue de dos tipos: tipo I (diferenciado en campo como “trompo”, frutos con forma cónica a redonda, grandes y muy grandes, con masa promedio de 334.2 g, el color de la pulpa está entre suave a carmelita rojiza) y tipo II (diferenciado en campo como “huevos de venado”, frutos con forma ovalada, medianos con masa promedio de 246.7 g, el color de la pulpa va de suave a carmelita rojiza), (Figuras 1 y 2). Los factores estudiados en los experimentos fueron seleccionados con consideración, a la naturaleza del acomodo del fruto en los envases que utilizan los productores.

La prueba de compresión se realizó con un equipo Instron Universal Testing Machine[□] modelo 3382 manejado por medio de una computadora equipada con el software BLUEHILL[□], utilizando dos platos paralelos de 15 cm de diámetro, con una capacidad de 100 kN (22,500 lb) y una velocidad de cruceta de 20 mm·min⁻¹. Los platos paralelos comprimieron una sola vez el fruto, registrándose en el software BLUEHILL[□] una curva fuerza-deformación para cada fruto evaluado. Las distancias de desplazamiento de la cruceta se establecieron con base en el resultado de pruebas preliminares, se dividió la grafica en cuatro regiones homogéneas.

Se utilizó un diseño completamente al azar en un arreglo factorial 2x2x4. El primer factor fue el tipo de fruto con dos niveles: tipo I (T) y tipo II (H). El segundo factor fue la posición del fruto en la compresión mecánica con dos niveles: pedúnculo perpendicular a la superficie de compresión (H) y pedúnculo paralelo a la superficie de compresión (V) (Figuras 1 y 2). El tercer factor fue la distancia de desplazamiento de la cruceta del equipo de compresión con cuatro niveles: distancia 1, distancia 2, distancia 3 y distancia 4 (punto de ruptura del fruto). Para cada tipo de fruto se obtuvieron los siguientes tratamientos: TH1, TH2, TH3, TH4, TV1, TV2, TV3, TV4, HH1, HH2, HH3, HH4, HV1, HV2, HV3, HV4. Como unidad experimental se empleo un fruto y las variables se evaluaron con cinco repeticiones, para lo cual se ocuparon 80 frutos. Adicionalmente se empleó un control para cada tipo de fruto. Los controles se incluyeron para comparar la respuesta fisiológica por los diferentes niveles de compresión.

Las variables mecánicas evaluadas fueron: carga de compresión reportada en N, deformación, mm·mm⁻¹, esfuerzo máximo, MPa, energía al máximo extensión por compresión, J y módulo de Young, MPa.

Las variables fisiológicas evaluadas fueron: velocidad de respiración y producción de etileno y se cuantificaron mediante un sistema estático (Mendoza-Wilson y Báez-Sañudo,

2000). La muestra de gases producto de la respiración se colocaron en tubos de vacío marca Vacutainer[®] de 7 mL, posteriormente se tomó 1 mL de aire de cada tubo y se inyectó en un cromatógrafo de gases marca Varian modelo 3400, columna ss; empacada poropack N, 2 m x 1/8", OD x 2 mm DI. Con dos detectores TCD (detector de conductividad térmica) y FID (detector de llama de ionización). Las condiciones de trabajo; columna 80 °C, detector 170 °C TCD, filamento 210 °C, FID 230 °C. los resultados se reportaron en mL de CO₂ kg h⁻¹ y en µL de C₂H₄ kg h⁻¹.

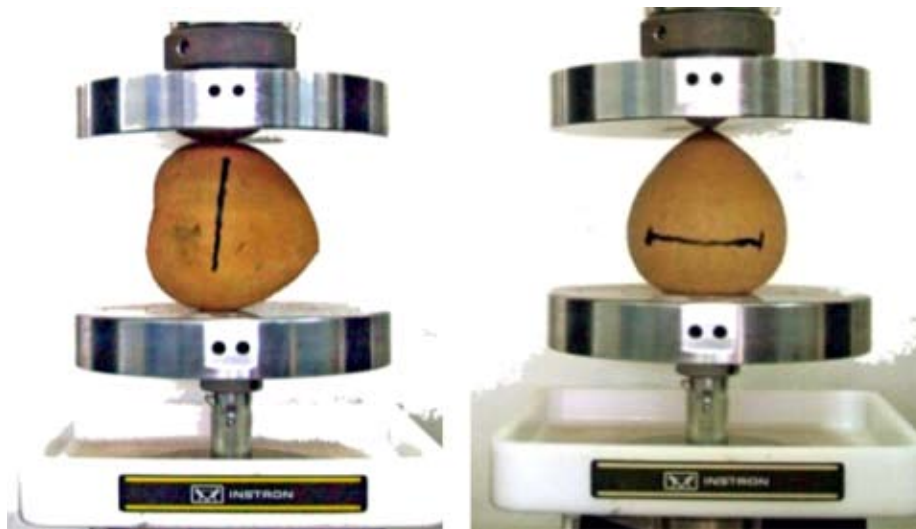


FIGURA 1. Posición del fruto en la compresión mecánica para el tipo I.

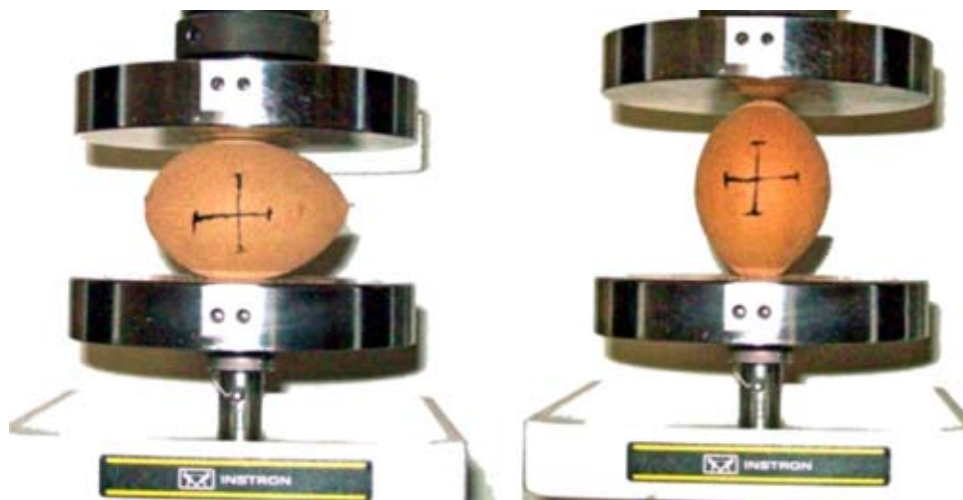


FIGURA 2. Posición del fruto en la compresión mecánica para el tipo II.

Las variables respuesta se analizaron mediante análisis de varianza y cuando hubo diferencias significativas se hizo la comparación de medias con la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$) por cada día de evaluación. Se empleó el paquete computacional Statistical Analysis System[®] (SAS, 2000).

Los datos de respiración y producción de etileno fueron graficados con el paquete computacional Microsoft Office Excel 2007 donde se señala la comparación de medias entre los tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respuesta fisiológica a la compresión axial

Para el tipo I con posición de compresión vertical, la actividad respiratoria muestra incrementos significativos en comparación con los frutos intactos a partir del cuarto día (Figura 3). Existe una razón proporcional al grado de compresión. La máxima producción de etileno fue en el cuarto día de evaluación, antecediendo al máximo de CO₂ que resultó en el día cinco (Figura 3). Los máximos valores de la intensidad respiratoria y producción de etileno estuvieron determinados por el tratamiento TV3 y HV3.

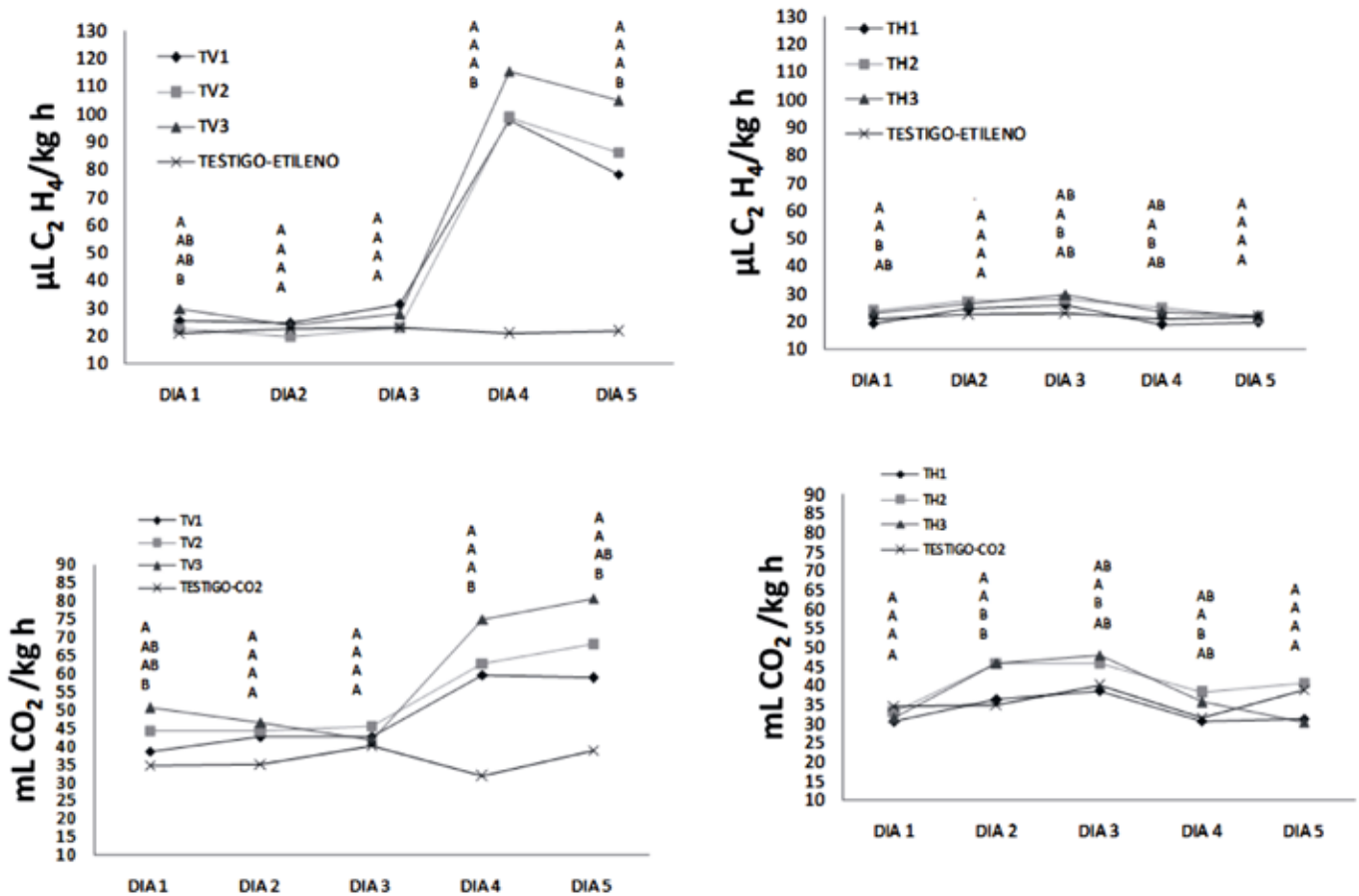


FIGURA 3. Respuesta fisiológica a la compresión axial, producción de etileno y CO_2 en el tipo I.

Los tratamientos para los frutos comprimidos, en posición horizontal para el tipo I mostraron valores más pequeños, en velocidad de respiración y producción de etileno, en todos los días de evaluación, con respecto a los frutos comprimidos en posición vertical (Figura 3). Se observa una pequeña diferencia estadística para el segundo día de evaluación entre los tratamientos TH2 Y TH3 con respecto a los tratamientos TH1 y testigo de tales frutos. Los valores más altos fueron alcanzados en el tercer día, $29.9 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$, $48.1 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ en el tratamiento TH3, para etileno y CO_2 respectivamente. Aunque los valores para etileno y CO_2 en el mismo tipo, para la posición vertical fueron de $115.4 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ y $80.74692 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{h}^{-1}$. Se presenta una respuesta de etileno y CO_2 con valores mayores, como consecuencia de los tratamientos con compresión en la posición vertical.

Los valores de CO_2 y etileno, en la posición horizontal no mostraron diferenciación estadística clara, aunque en esta posición los valores de la respuesta fisiológica son menores, lo cual mantendría un periodo de almacenamiento posible más largo; con respecto a los frutos comprimidos en posición vertical.

Las diferencias que se presentaron, al inicio de la evaluación posiblemente se debieron a la heterogeneidad en el grado de madurez de los frutos, debido a que los índices de madurez comercial utilizados por los productores, se concentran más

en la apreciación visual, por lo que aún existen problemas con respecto a los índices de madurez, la época de cosecha y el manejo agronómico también influye.

La intensidad respiratoria presentó diferencias estadísticas hasta el cuarto día de evaluación entre los tratamientos con compresión en el tipo II, respecto al control, ocurriendo una marcada diferencia en el día cinco, en frutos comprimidos en posición vertical Figura 4. Para la variable etileno, las diferencias significativas a la compresión, se presentaron en el cuarto y quinto día de la evaluación, para la misma posición del fruto (Figura 4).

Para los frutos de *Manilkara sapota* tipo II con compresión, el aumento en la respiración, se igualó con la producción de etileno, en el día de evaluación, presentando los máximos en la posición vertical, de $161.0 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$, $108.9 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{h}^{-1}$, respectivamente (Figura 4). Según Bautista *et al.* (2005), el patrón de maduración de frutos de chicozapote, tipo fino, en lo que respecta a intensidad respiratoria presentó un comportamiento climatérico con un máximo de $21.3 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ al octavo día. Este comportamiento resultó similar al reportado por Baez *et al.* (1997), quienes muestran una producción de $27 \text{ mL de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ al sexto día (20°C , 85% de H.R.). Las diferencias en los valores reportados se pueden atribuir al lugar de procedencia, época de cosecha y condiciones de maduración o también a la sensibilidad de los equipos utilizados para medir estas variables. En este caso los valores en etileno

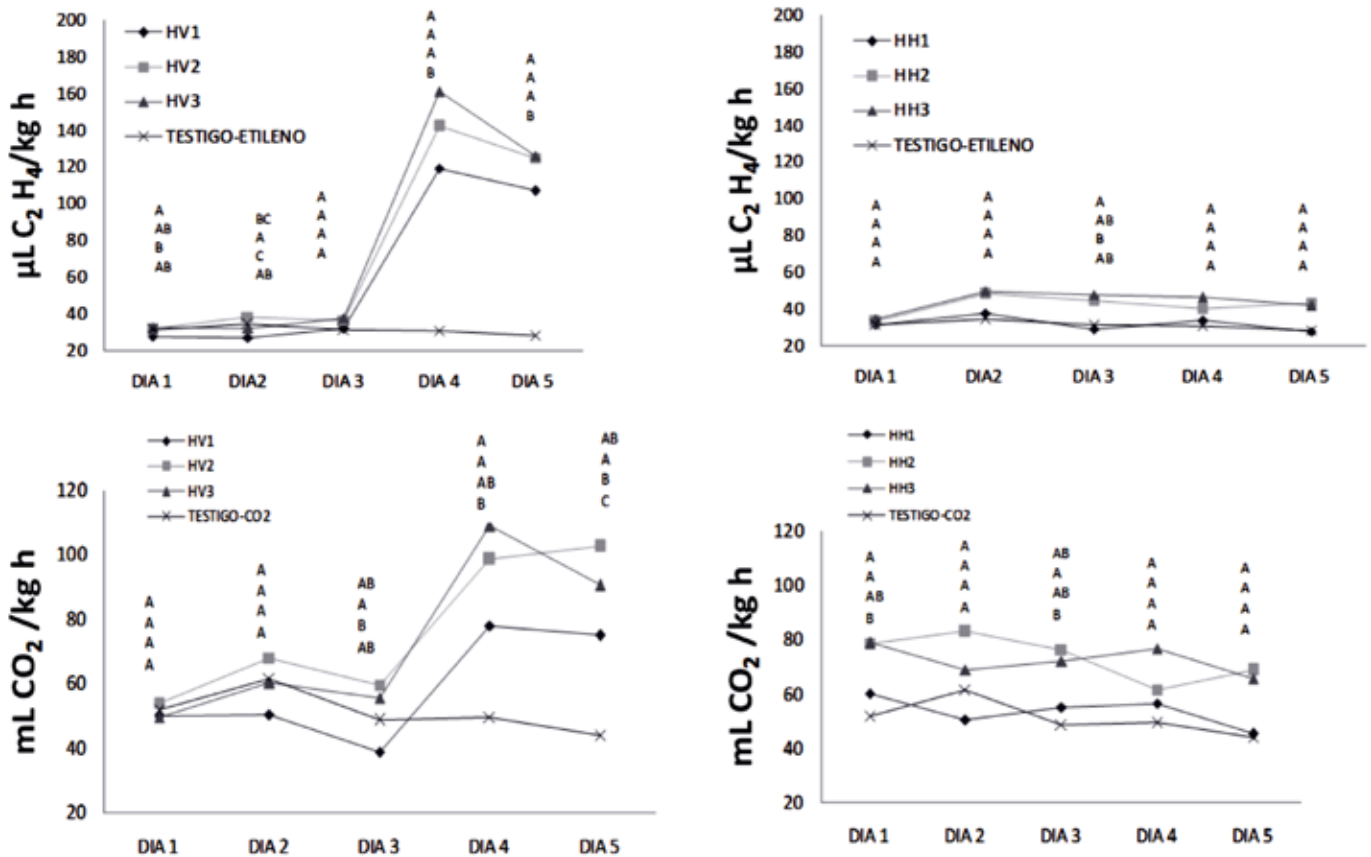


FIGURA 4. Actividad respiratoria y producción de etileno debido a la compresión axial, en el tipo II.

para el tratamiento control están más de acuerdo con Rao y Chundawat (1992), para la variedad Kirthabathi que produjo 30 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$, al sexto día (26-30 °C; 60-70% de H.R.). Discrepando con Bautista *et al.* (2005), que reporta la máxima producción de etileno al séptimo día (6.4 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$) en chicozapote tipo fino.

Lo anterior pone de manifiesto la velocidad de deterioro del chicozapote sometido a los diferentes tratamientos con compresión. En este caso, el comportamiento fisiológico de los frutos con alguna compresión no difiere estadísticamente del comportamiento, mostrado por los frutos control, mientras que no se alcanza el cuarto día de evaluación.

La actividad respiratoria, reportada en los frutos del tipo II comprimidos en posición horizontal solo muestra diferencia significativa en los frutos con el más alto recorrido de la cruceca para el primer y tercer día de la evaluación con respecto al control. Para la variable etileno prácticamente no existió diferencia en los diferentes tratamientos. La posición horizontal mostró los más bajos niveles de etileno y CO_2 , para este tipo, comparando los frutos con compresión y los frutos intactos, en la posición vertical. Los frutos de este tipo en la posición horizontal alcanzaron los valores mayores de etileno y CO_2 , coincidiendo en el tiempo de evaluación, 49.5 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$, 83.0 $\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{h}^{-1}$.

En sandías, la actividad respiratoria de los frutos fue poco afectada después del daño mecánico (compresión está-

tica de un peso de 58.8 N durante una h) durante las 36 horas en las cuales fue monitoreado el experimento, aunque todos los frutos dañados respiraron más que los frutos control; verificándose que después de 11 h hubo incremento en la I.R. para los frutos dañados, posteriormente con decrecimiento después de las 24 h de inicio del experimento (Durigan *et al.*, 2007 b).

Propiedades mecánicas a la compresión

La curva incrementa casi linealmente (Figura 5) hasta un valor de fuerza máxima. Enseguida ocurre la fractura seguida por un decremento en la carga, con un incremento en la deformación, después del punto máximo; este punto máximo es designado como “punto de ruptura”, correspondiendo a la falla en la macro estructura del espécimen de chicozapote; la siguiente región después de la caída de carga continúa incrementándose, debido a que el espécimen fracturado fue compactado. La curva para chicozapote, corresponde a una curva sin punto de biocedencia definido en (Asae standard, 2005).

Máxima carga de compresión

Se muestra diferencia entre el tratamiento TV1 y los tratamientos TV2 y TV3, para los valores medios de fuerza en la posición vertical, del tipo I, con el valor máximo alcanzado por el tratamiento TV3 de (4)50.40 N (Cuadro 1).

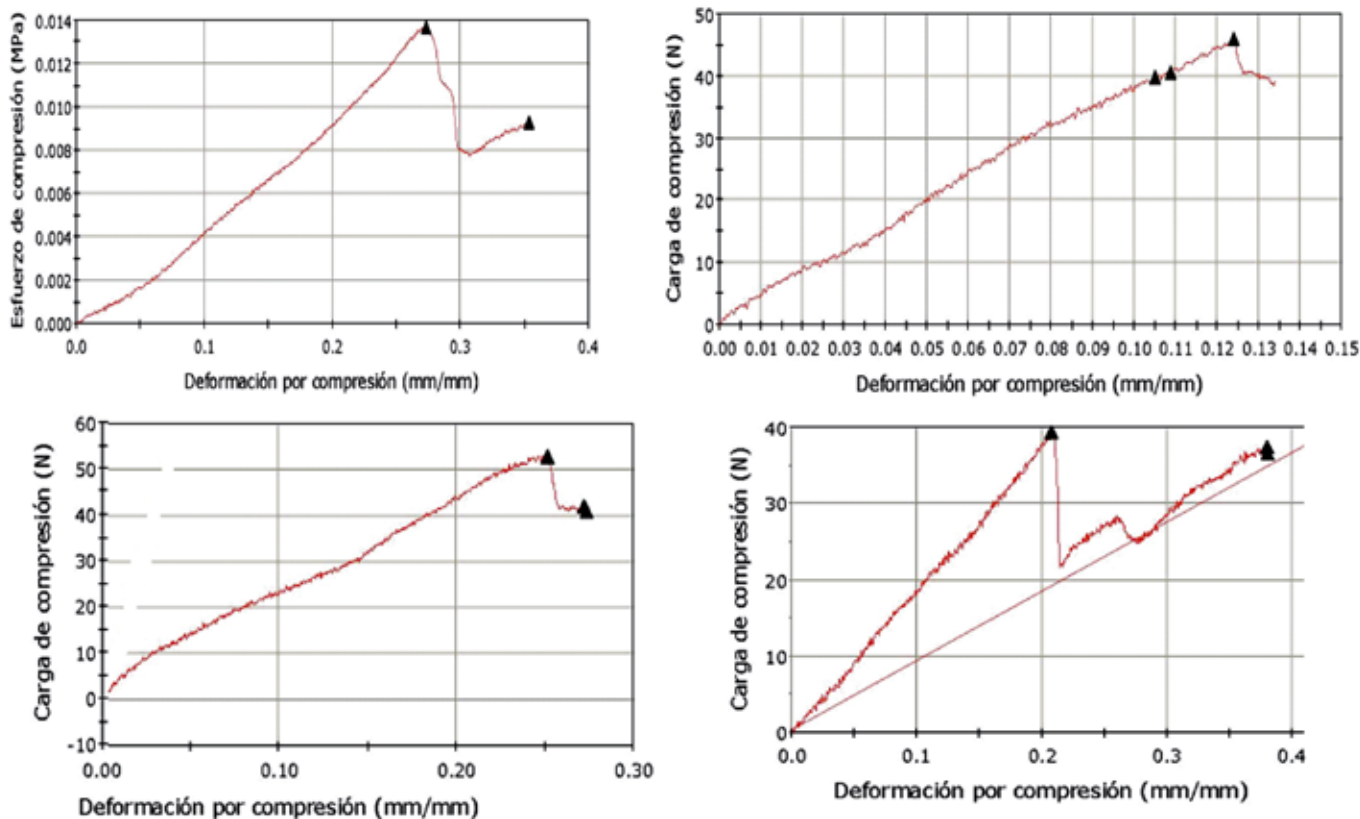


FIGURA 5. Las curvas típicas fuerza-deformación para un espécimen de *Manilkara zapota*, bajo compresión axial.

CUADRO 1. Valores de las propiedades mecánicas: máxima carga de compresión (MCC), máximo esfuerzo de compresión (MEC), energía al máximo esfuerzo de compresión (EMEC), deformación por compresión a la máxima carga de compresión (DCMCC) y módulo de Young automático (MAY) en frutos de chicozapote comprimidos axialmente

Desplazamiento de la cruceta (mm)	MCC (N)	MEC (MPa)	EMEC (J)	DCMCC (mm mm ⁻¹)	MAY (MPa)
TV1=1.75 mm	11.55 B	0.0022B	0.0113B	0.0242C	0.1507A
TV2=3.5 mm	37.17A	0.0060BA	0.0688B	0.0448B	0.1687A
TV3=5.25 mm	50.40A	0.0079A	0.1425A	0.0661A	0.2132A
TH1=3 mm	22.28B	0.0032C	0.0369C	0.0343C	0.1115A
TH2=6 mm	43.31B	0.0073B	0.1284B	0.0749B	0.1195A
TH3=9 mm	76.90A	0.0120A	0.3211A	0.1202A	0.1295A
HH1=2.75 mm	18.00B	0.0022B	0.0258B	0.0430C	0.0644A
HH2=5.5 mm	39.91BA	0.0058BA	0.0986BA	0.0914B	0.0880A
HH3=8.25 mm	50.16A	0.0072A	0.1628A	0.1304A	0.0894A
HV1=1.5 mm	5.59B	0.0015B	0.0048 B	0.0156C	0.2751A
HV2=3 mm	8.50B	0.0021B	0.0145B	0.0324B	0.1739A
HV3=4.5 mm	15.74A	0.0036A	0.0378A	0.0441A	0.1191A

Para la posición horizontal existe diferencia significativa, entre el tratamiento TH3 con respecto a los tratamientos TH1 y TH2, con el valor máximo de fuerza para esta posición de 76.90 N, alcanzado por el tratamiento TH3.

Para el tipo II las diferencias estadísticas en la posición horizontal ocurrieron, entre el tratamiento HH1 con respecto a los tratamientos HH2 y HH3, con un valor máximo de 50.16 N, sin diferencia significativa entre estos últimos.

Existió diferencia significativa entre el tratamiento HV3,

con respecto a los otros tratamientos, en los valores medios de fuerza de compresión, para el tipo “II” vertical, con un máximo de 15.74 N.

En los frutos en posición horizontal, se requiere mayor carga para alcanzar el límite de desplazamiento de cruceta máximo, antes del punto de ruptura; independientemente del tipo, (II con 50.16 N y I con 76.90 N), el tipo que requiere mayor carga para alcanzar el punto tres es el “I”. En esta posición es su descanso natural del tipo II.

Reportándose los menores valores, de carga de compresión para el tipo II en la posición vertical.

Se evidencia que un fruto de chicozapote en estado de madurez comercial, requiere de menor fuerza para alcanzar la ruptura del tejido, en la posición vertical independientemente del tipo, con respecto a la posición horizontal. Esto debido a la geometría de los mismos frutos, con una alta concentración de esfuerzos, en esta posición, la sollicitación inicial se concentra sobre una pequeña área del fruto y a medida que avanza la prueba el desplazamiento de la cruceta deforma una mayor cantidad de área. Observándose un aplastamiento evidente en los frutos comprimidos en esta posición. El resultado se explica, en base a la forma como está orientada la distribución de los tejidos en el fruto (paralelos al pedúnculo), de esta manera los tejidos sufren compresión y acortamiento en la posición vertical, no así en la posición horizontal que actúan como elemento viga.

En frutos de melón (*Cucumis melo* L.) la posición que adopta el fruto resulta significativa en la carga requerida para la deformación, en donde la posición vertical ofrece la mayor resistencia (Villaseñor *et al.*, 2006).

Esfuerzo y energía al máximo esfuerzo de compresión

Para el esfuerzo y energía de compresión, las diferencias significativas fueron similares entre sus respectivos tratamientos. Evidenciando los máximos respectivos de esfuerzo y energía de 0.012080 MPa y 0.32 J (Cuadro 1).

Deformación por compresión al máximo carga de compresión

Los frutos sometidos a compresión mostraron diferencias significativas entre ellos, en todos los casos independientemente de la posición, mostrando una relación proporcional al desplazamiento de cruceta, los frutos alcanzaron hasta 44.95% y 66% más de deformación en la posición horizontal que en la posición vertical, para los tipos I y II respectivamente (Cuadro 1).

La posición que adopta el fruto de melón durante la compresión es significativo en el grado de deformación del fruto y es mejor la posición horizontal durante la compresión (Villaseñor *et al.*, 2006).

Módulo de Young

El modulo de Young está relacionado con la rigidez del tejido del fruto (Chen *et al.*, 1987). Los diferentes tratamientos no difieren estadísticamente para la posición respectiva. Mostrando valores más altos para la posición vertical, independientemente del tipo, 0.21 MPa y 0.27 MPa para el tipo I y II respectivamente (Cuadro 1).

Se muestran valores similares a lo reportado por Finney *et al.* (1967) en los frutos de *Prunus pérsica cv.* "Late Alberta"

0.19 a 0.01 MPa, y de *Pyrus cv Kieffer*" de 0.28 a 0.11 MPa.

En la fruta pera variedades Williams y Ankara tiende a decrecer cuando el tiempo de almacenaje en frío incrementó de 1.68 a 0.51 MPa y de 1.34 a 0.8 Mpa respectivamente. Para las variedades de manzana Starkspur, Golden Delicious de 1.45 a 0.88 MPa y a partir de 1.51 a 1.1 MPa para Starking con un incremento en la duración del tiempo de almacenaje. De acuerdo a los resultados reportados por Ogut y Haydin (1992), el módulo de elasticidad de manzana Starking es 2,056 MPa. Sin embargo según Yurtlu *et al.* (2005), el módulo de elasticidad es de 1.507 y 1.447 MPa para la misma variedad en el día de la cosecha.

Esta situación en materiales biológicos puede ser explicada por el hecho de que ellas son organismos vivientes y sus células son sensibles a influencias tal como humedad. Temperatura, consumo de oxígeno y energía durante su desarrollo y almacenaje. Por consiguiente sus propiedades mecánicas como es el modulo de elasticidad cambia de acuerdo al día de cosecha, tiempo de almacenaje y condiciones de manejo.

CONCLUSIONES

- Los dos tipos de chicozapote mostraron sensibilidad fisiológica a la aplicación de cargas externas (daño mecánico). La producción de etileno y la velocidad de respiración se incrementaron significativamente por la carga aplicada en la posición vertical, lo que aceleró la senescencia del fruto.
- La aplicación de carga en los frutos desde una posición vertical se tradujo en un incremento en la respuesta fisiológica y una reducción de la carga máxima de compresión para alcanzar los niveles de desplazamiento de cruceta, comparados con su respectiva posición horizontal. Por lo que la mejor posición para manejar los frutos dentro de las cajas de transporte es en la posición horizontal.
- De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo, se puede inferir que los parámetros mecánicos para protección de los frutos en cosecha, transporte y almacenamiento, deben ser basados en el comportamiento de los frutos a compresión en la posición horizontal, con el segundo desplazamiento de cruceta, si la compresión puede ser reducida por abajo de los umbrales antes referidos, encontrados en el estudio, sería posible reducir los niveles de daño y por consiguiente presentar un fruto fresco de calidad. Chicozapotes tipo II fueron muy sensibles a los daños por compresión a través del período evaluado; extremo cuidado debe ser ejercido en todas las veces que se maneja este tipo. Las variables mecánicas evaluadas; son significativamente influenciadas por la orientación, desplazamiento de cruceta y tipo. Esos resultados conjuntados con la respuesta fisiológica tienen importantes implicaciones en almacenar y transportar fruta con mejores posiciones y minimizar daño mecánico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASAE: *Compression Test of Food Materials of Convex Shape*. American Society of Agricultural Engineers, USA pp. 600-608, 2005.
- BAÉZ, M. A.; H. SILLER; B. HEREDIA; T. PORTILLO; E. ARAIZA; S. GARCÍA y D. MUY: "Fisiología postcosecha de frutos de chicozapote (*Achras sapota* L.) durante condiciones de mercadeo", *Procedimientos sociedad interamericana de horticultura tropical* 41: 209-214, 1997.

- BAUTISTA, R. B.; M.L. AREVALO; C. SAUCEDO y M.T. MARTÍNEZ: "Proceso de maduración de frutos de chicozapote ((*Manilkara zapota* L. P. Royen), tipo fino)", *Revista Chapingo serie horticultura* 1: 387-391, 2005.
- CHEN, P.; M. RUIZ; F. LU and A. KADER: "Study of impact and compression damage on Asian pears", *Transactions of the ASAE* 30: 1193-1197, 1987.
- DURIGAN, B. M. F.; H. MATTIUZ e F. DURIGAN: "Injúrias mecânicas na qualidade pós-colheita de lima ácida 'tahiti' armazenada sob condição ambiente", *Revista Brasileira Fruticultura Jaboticabal*, 27: 369-372, 2005.
- DURIGAN, B. M. F. e H. MATTIUZ: "Injúrias mecânicas e seus efeitos na qualidade de melancias armazenadas em condição ambiente", *Horticultura Brasileira*, 25: 296-300, 2007b.
- DURIGAN, B. M. F. e H. MATTIUZ: "Efeito de injúrias mecânicas na qualidade de abobrinhas armazenadas em condição ambiente", *Horticultura Brasileira*, 25: 291-295, 2007a
- FINNEY, E. E.: "Dynamic elastic properties of some fruits during growth and development", *Journal Agricultural Engineering*, 12: 249-249, 1967.
- GAZEL, F. A. B.: "Caracterización de plantas de chicozapote (*manilkara zapota* (L.) P. Van Royen) de la colección del CATIE, mediante el uso del análisis multivariado", *Revista Brasileira Fruticultura Jaboticabal*, 24: 727-730, 2002.
- KASAT, G. F.; H. MATTIUZ E F. OGASSAVARA: Injúrias mecânicas e seus efeitos em pêssegos 'aurora-1'. *Revista Brasileira Fruticultura Jaboticabal*, 29: 318-322, 2007.
- KHAN, A. A. and F.V. VINCENT: "Compressive stiffness and fracture properties of apple and potato parenchyma", *Journal Texture Studies*, 24: 423-435, 1993.
- KNEE, M.: *Fruit quality and its biological basis*, pp 164-175, Sheffield Academic Press U.S.A-Canada, 2002.
- MATTIUZ, B. H. and F. DURIGAN: "Effect of mechanical injuries on firmness and color of 'Paluma' and 'Pedro Alto' guavas", *Revista Brasileira Fruticultura Jaboticabal*, 23: 277-281, 2001.
- MENDOZA, W. A. M. y R. BAÉZ: "Medición de la tasa respiratoria por sistema cerrado en melón cantaloupe", *Horticultura Mexicana*, 8: 158-163, 2000.
- MIRANDA, M. R. A.; S. SILVA; A. FILGUEIRAS; E. ALVES and C.C. ARAUJO: Enzymes and pectin breakdown of sapodilla during modified atmosphere storage, *Proceedings of the 312 interamerican society for tropical horticulture* 45: 18-21, 2001.
- MIRANDA, M. R. A.; S. SILVA; A. FILGUEIRAS; E. ALVES and C.C. ARAUJO: "Armazenamento de dois tipos de sapoti sob condição de ambiente", *Revista Brasileira de Fruticultura Jaboticabal*, 24: 644-646, 2002.
- MORAIS, P. L. D.; C.O. LIMA; E. ALVES; A. FILGUEIRAS e A. ALMEIDA: "Alteraciones físicas, fisiológicas y químicas durante el almacenamiento de dos variedades de zapote", *Pesquisa agropecuaria brasileira*, 41: 549-554, 2006.
- MORAIS, P. L. D.; C.O. LIMA; R.A. MIRANDA; E. ALVES and J. SILVA: "Enzyme activities and pectin breakdown of sapodilla submitted to 1-methylcyclopropane", *Pesquisa agropecuaria brasileira*, 43: 15-20, 2008.
- OGUT, H.; C. AYDIN and A. PEKER: "Simulated transit studies on apples: effects of container, cushion materials and vibration on elasticity modulus", *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*, 30: 59-62, 1992.
- RAO, D. V. R. and S. CHUNDAWAT: "Effect of certain new ripening retardants on ripening in sapota (*Manilkara achras* (Mill) Forsberg) cv Kirthaborthi", *Indian Journal Plant Physiology*, 35: 167-173, 1992.
- SÁNCHEZ, J.; F. DURIGAN and M. DOS SANTOS: "Use of scanning electronic microscopy as tool of the tissue structure evaluation of 'quintal' avocado tissue structure after mechanical injuries", *Revista Brasileira Fruticultura Jaboticabal*, 29: 057-060, 2007.
- Statistical Analysis System Institute (SAS Institute): SAS/ STAT. Guide for personal computers*, pp. 231-257, Version V10. Cary, N. C.; USA, 2000.
- VILLASEÑOR, P. C. A.; S.H. CHÁVEZ y C. SAUCEDO: "Comportamiento mecánico y fisiológico de frutos de melón (*Cucumis melo* L.) bajo compresión axial", *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(2):157-162, 2006.
- YURTLU, Y. B. and D. ERDOÜAN: "Effect of storage time on some mechanical properties and bruise susceptibility of pears and apples", *Turkey Journal Agricultural Forest*, 29: 469-482, 2005.

*Todos nuestros servicios
a su disposición*

BIBLIOTECA ANTONIO MACHADO RUIZ

UNIVERSIDAD DE GRANMA (UGR)