

EVALUACIÓN DE FRUTOS DE PITAHAYA ROJA (*Hylocereus undatus*) SOMETIDOS A CARGA DE COMPRESIÓN AXIAL

EVALUATION OF RED PITAHAYA FRUITS (*Hylocereus undatus*) UNDER AXIAL COMPRESSION LOAD

Missael Bonifacio Romero-Escobedo¹; Artemio Pérez-López^{1*};
Carlos Alberto Villaseñor-Perea²

¹Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5, Carretera México-Texcoco,
Chapingo Estado de México. C. P. 56230. MÉXICO.

²Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5, Carretera México-Texcoco, Chapingo
Estado de México, C. P. 56230, MÉXICO. Correo-e: aperezl.dia@gmail.com (*Autor para correspondencia).

RESUMEN

Se evaluaron frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en estado de madurez comercial de un cultivo del municipio de San Gabriel Chilac, Puebla. Se determinaron las cargas de compresión y deformación de los frutos hasta su límite elástico (CLE) y punto de biocedencia (CPB). Posteriormente se evaluaron las variables fisicoquímicas y fisiológicas durante 10 días (20 °C ± 2). Los resultados obtenidos fueron: peso promedio a la cosecha de 419.4 ± 86.8 g, esfericidad de 81.4 ± 4.8 %, área superficial de 26,022 mm², densidad de 0.93 g·cm⁻³, carga de compresión a límite elástico de 0.085 kN (deformación de 0.12 mm·min⁻¹), carga al punto de biocedencia de 0.153 kN (deformación de 0.21 mm·min⁻¹). El concepto de umbral de carga desde el punto de vista mecánico no coincide con la respuesta fisiológica en frutos de pitahaya. Se recomienda almacenar los frutos de pitahaya con una carga de estibamiento inferior al del límite elástico.

Palabras clave adicionales: *Hylocereus undatus*, velocidad de respiración, etileno, límite elástico, punto de biocedencia.

ABSTRACT

Pitahaya fruits (*Hylocereus undatus*) were evaluated in commercial maturity harvested in San Gabriel Chilac, Puebla. Compression loads and deformation of fruits were determined until its elastic limit (CLE) and bioyield point (CPB). Then were evaluated the physicochemical and physiological variables at room temperature (20 °C ± 2) for 10 days. The results were: average weight at harvest was 419.4 ± 86.8 g, sphericity of 81.4 ± 4.8 %, surface area of 26,022 mm², density of 0.93 g·cm⁻³, a compressive load to elastic limit 0.085 kN (deformation of 0.12 mm·min⁻¹), load to the bioyield point of 0.153 kN (deformation of 0.21 mm·min⁻¹). The concept of threshold load from the mechanical viewpoint doesn't match the physiological response of pitahaya fruit. We recommended storage pitahaya fruits with a stacking load below the elastic limit load.

Additional keywords: *Hylocereus undatus*, respiration rate, ethylene, elastic limit, bioyield point.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial existen varias cactáceas económicamente importantes, que se usan con fines de ornato, medicinales, forrajeras, como cercos y las comestibles; en estas últimas se encuentran las frutas provenientes de géneros *Opuntia* e *Hylocereus*, de las cuales, además de los frutos, también se aprovechan sus hojas y otras partes con propósitos medicinales. La pitahaya es una planta

de zonas calientes con poca lluvia; esta característica la pone en ventaja ante otros cultivos cuando hay poca disponibilidad de agua y nutrientes en el suelo. Es un cultivo perenne que no requiere de alta tecnología para su explotación comercial (Rodríguez, 2000). Durante la cosecha los frutos de pitahaya están sujetos a diversos daños como: golpes con los instrumentos de cosecha, los ocasionados por aves e insectos y los que suceden por fricción y compresión entre los frutos durante el transporte

a granel o en cajas de madera; con ello, la calidad obtenida en el campo es afectada. Esto último está relacionado con la falta de un método de empaque adecuado, pues se utilizan cajas de madera muy ásperas llamadas comúnmente guacales que se llenan en exceso, provocando daños por abrasión en los frutos.

Sin restarle importancia a la diversidad genética y a las condiciones de producción de cada especie frutal, existe evidencia científica de la relación directa entre la magnitud del estrés al que son sometidos los frutos en los daños mecánicos y la actividad metabólica. Knee (2002) y Kader y Saltveit (2003) reportan que un incremento en la velocidad de respiración acelera el proceso de maduración y la senescencia de un fruto, lo cual tiene una relación inversa con la calidad. Un aspecto también muy importante es el fenómeno de la deshidratación, el cual se afecta de manera importante con la ocurrencia de los daños mecánicos. En frutos de pitahaya roja se reporta que con una pérdida de peso por deshidratación superior al 5 % presentan marchitez ligera y muerte de tejido en el borde de las brácteas (Osuna *et al.*, 2011). Por otra parte, Nerd *et al.* (1999) midieron la velocidad de desprendimiento de CO₂ y de etileno en frutos de *H. undatus* y *H. polyrhizus*, durante seis días a 20 °C, encontrando que tienen un comportamiento no climatérico; en contraste, Rodríguez *et al.* (2005) señalaron que la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw.) tiene un comportamiento climatérico.

Las pruebas de compresión en materiales biológicos son un método objetivo para determinar las propiedades mecánicas que permiten conocer la máxima carga estática permisible para minimizar los daños mecánicos. Estas pruebas comúnmente se realizan con equipos completamente automatizados, tales como la INSTRON (Universal Testing Machine), de donde se obtienen las curvas de “fuerza vs. deformación” que permiten determinar el límite elástico (zona proporcional entre la fuerza y la deformación) y punto de biocedencia del material (primer punto de inflexión). Se asume que en la región de límite elástico las deformaciones son pequeñas y que el material que está siendo comprimido tiene comportamiento elástico, en tanto que en el punto de biocedencia cualquier incremento en la deformación puede tener o no tener incrementos en la fuerza de compresión (ASAE, 2006; Szczesniak, 1983). Mohsenin (1986) afirma que una compresión en los productos biológicos mas allá del punto de biocedencia causa una ruptura celular del tejido, ocasionando un manchado del mismo. Por esta razón, el punto de biocedencia es considerado como umbral de deterioro.

El conocimiento de las propiedades físico-mecánicas del fruto, aunado a las implicaciones fisiológicas del mismo cuando es sometido a la acción de una fuerza, es importante para el diseño de técnicas de cosecha, equipos de clasificación, contenedores y empaque que minimicen los daños mecánicos después de la cosecha. Es por ello que en el presente estudio se plantean los siguientes objetivos: evaluar el comportamiento de las variables fisicoquímicas y fisiológicas de frutos de pitahaya roja después de haber sido sometidos a una carga de compresión axial, así como determinar la carga requerida para alcanzar el límite elástico y punto de biocedencia del tejido del fruto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se cosecharon frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) de cáscara roja y pulpa blanca, en madurez comercial, el 1 de septiembre de 2008, los cuales provenían de un cultivo en el municipio de San Gabriel Chilac, Puebla, México, que se encuentra a 1,200 m de altitud, con paralelos 18° 17' 18" y 18° 21' 54" de LN y los meridianos 97° 18' 42" y 97° 25' 42" de LO. Fueron transportados al Laboratorio de Materiales del Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo para las pruebas de compresión mecánica. Se formó un lote de 90 frutos para el estudio de compresión. Los frutos se mantuvieron por 24 horas al ambiente (condiciones normales), a una temperatura promedio de 20 ± 2 °C y 50-60 % de HR, antes de iniciar con las pruebas mecánicas y fisiológicas. En las mismas condiciones se mantuvieron los frutos después de la compresión mecánica.

Para el estudio mecánico, se utilizó un fruto de pitahaya como unidad experimental y se evaluó la compresión a dos niveles, dando como resultado tres tratamientos: sin compresión (SC), compresión hasta límite elástico (CLE) y compresión hasta punto de biocedencia (CPB). Las distancias de compresión CLE y CPB se obtuvieron en pruebas preliminares mediante la compresión mecánica de 20 frutos en posición horizontal (con el pedúnculo paralelo al plato de compresión) hasta el punto de ruptura. Como resultado de estas pruebas se obtuvo la curva de carga de compresión contra desplazamiento de cruceta correspondiente (Szczesniak, 1983; Villaseñor-Perea *et al.*, 2006). El valor promedio de desplazamiento de la cruceta para CLE fue de 9.99 mm y para CPB de 17.79 mm. Como equipo de compresión se empleó una Máquina Universal de ensayos INSTRON® (*Universal Testing Machine*) con una velocidad de cruceta de 25 mm·min⁻¹ (Mohsenin, 1986) y una celda de carga de 100 kN. Se determinó la carga de compresión (N) y la deformación del fruto por el esfuerzo aplicado (mm·min⁻¹). Estos datos fueron generados por el Software de la máquina INSTRON®.

Variables no destructivas

La tasa de respiración y la producción de etileno se evaluaron mediante un método estático (Mendoza-Wilson y Baéz-Sañudo, 2000). Un fruto de cada tratamiento, con seis repeticiones, se colocó en recipientes herméticos durante una hora. Después se tomó una muestra de 6 mL de gas del espacio libre con una jeringa de plástico y se colocó en un tubo de vacío marca Vacutainer, del cual se tomó 1 mL del gas y se inyectó al cromatógrafo de gases (Varian Star 340 CX, USA). Las temperaturas de la columna, inyector y detector fueron de 80, 150 y 179 °C, respectivamente. La pérdida de peso se obtuvo diariamente pesando 18 frutos de forma individual en una balanza digital (Ohaus modelo Scout II, USA), con una sensibilidad de 0.1 g y se reportó el porcentaje de pérdida de peso acumulado respecto al día inicial (Alia-Tejacal *et al.*, 2005). El volumen fue medido por desplazamiento de agua según Haciseferogullari *et al.* (2006); el fruto se sumergió en una probeta graduada y se expresó en centímetros cúbicos (cm³), mientras que la densidad se obtuvo mediante la relación masa/volumen. Con un calibrador (Vernier)

se midieron las dimensiones: longitud (L), diámetro mayor (E) perpendicular a L y diámetro menor (A) perpendicular a L y a E. Con estos datos se obtuvieron los valores de diámetro medio geométrico (D_g) y esfericidad (ϕ) de acuerdo con las ecuaciones propuestas por Vursavus *et al.* (2006) y Haciseferogullari *et al.* (2006) aplicables a distintos frutos:

$$D_g = (LAE)^{0.333} \quad (1)$$

$$\phi = \frac{(LAE)^{0.333}}{L} \quad (2)$$

donde: L = largo, E = espesor, A = ancho.

La superficie se calculó con ayuda de la ecuación propuesta por Vursavus *et al.* (2006).

$$S = \pi D_g^2 \quad (3)$$

donde: S = superficie, D_g = diámetro medio geométrico.

Variables destructivas

Después de la aplicación de los tratamientos de compresión se realizaron evaluaciones destructivas diariamente hasta el día ocho; se determinaron la acidez titulable, los sólidos solubles totales y el pH. Para determinar la acidez titulable se empleó el método de la Association of Official Analytical Chemist (AOAC, 1998); a una alícuota de 50 mL del jugo de pitahaya se agregó NaOH 0.1 N, hasta alcanzar un cambio de color debido al indicador fenolftaleína a un pH de 8.2. La acidez se expresó como porcentaje de ácido málico. Para determinar los sólidos solubles totales, se colocó una gota de sobrenadante en un refractómetro manual ATAGO® (Japón) expresando los sólidos solubles totales en grados Brix. El pH se obtuvo del mismo sobrenadante con un potenciómetro digital Conductronic PH120 (México).

Los valores experimentales se analizaron conforme un diseño experimental de tipo completamente al azar. Se realizó un análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para detectar posibles diferencias significativas entre tratamientos. Se empleó el paquete estadístico SAS v. 6.12, y las gráficas se elaboraron con el software de Sigma Plot 11 (Sigma Plot, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físicas y carga de compresión

De acuerdo con los resultados, el tejido del fruto de pitahaya presentó una zona de deformación inicial que es proporcional con la carga aplicada. De esta manera, se requirió de una carga de 0.085 kN para CLE (deformación de $0.12 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$), mientras que para CPB la carga fue de 0.153 kN (deformación de $0.21 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$). Estudios previos reportan valores de carga de compresión en frutos enteros de 0.52 (CLE) y 1.33 kN (CPB) para zapote mamey (*Pouteria sapota*) (Pérez-López *et al.*, 2009) y de 0.013 y 0.018 kN (CPB) para muestras cilíndricas de pulpa de sandía cv Crimson sweet y Charleston gray (*Citrullus lanatus*), respectivamente (Sadriani *et al.*, 2008). Las variaciones en los valores de resistencia a la compresión de frutos se atribuyen, entre otros factores, a la densidad, grosor de la pulpa, variedad, estado de madurez, orientación de la fruta y a las geometrías de carga (ASAE, 2006; Villaseñor-Perea *et al.*, 2006). Por esta razón, es importante que en cada especie, y según su condición de desarrollo fisiológico, se identifique cuál es su umbral de carga de compresión (punto de biocedencia), debido a que este es el inicio de la ruptura celular (Mohsenin, 1986; ASAE, 2006). En el fruto de pitahaya difícilmente se pudieron observar daños por efecto de la compresión mecánica en la superficie externa en los tres primeros días; sin embargo, al hacerle un corte transversal se observó en la pulpa un oscurecimiento en el tejido comestible en forma de "X" ocasionado por la compresión; esto fue más evidente en CPB (Figura 1). La información obtenida da idea de la carga de estibamiento permisible cuando se almacenan frutos a granel, aunque merece una atención especial el efecto del tiempo



FIGURA 1. Daño en la pulpa de frutos de pitahaya sometidos a carga de compresión axial.

de permanencia de la carga sobre el producto mismo que rebasa los objetivos de esta investigación.

La composición de los frutos de pitahaya es de 63 % de pulpa y 37 % de cáscara; la relación longitud/diámetro del fruto es de 1.23. Los valores de diámetro medio geométrico, esfericidad y área superficial fueron 90.8 mm, 81.4 % y 26,022.5 mm², respectivamente. El valor de la esfericidad nos indica que el fruto de pitahaya se acerca en un 81.4 % a la forma de una esfera. El peso promedio a la cosecha fue 419.4 ± 86.8 g, el volumen de 447.2 cm³ y la densidad promedio de 0.93 g·cm⁻³.

Intensidad respiratoria y producción de etileno

Se observó un incremento en la velocidad de respiración (33 mg de CO₂·kg⁻¹·h⁻¹) ($P \leq 0.05$) de los frutos CLE en el día 3 de almacenamiento que es coherente con un incremento en su producción de etileno (170 µL C₂H₄·kg⁻¹·h⁻¹) para este mismo día (Figura 2). Kader y Salveit (2003) y Osuna *et al.* (2011) reportan para este tipo de frutos que un incremento en etileno acompañado de una elevación en los niveles de respiración son una respuesta a la demanda energética de las enzimas que contribuyen a su senescencia. En los frutos con CPB y SC no hubo cambios significativos ($P \leq 0.05$) en la producción de etileno y CO₂, lo que demuestra una condición de senescencia avanzada en CPB, y la no estimulación en la producción de estos gases en los frutos intactos (SC) se debe a su condición de no climatérica (Osuna *et al.*, 2011).

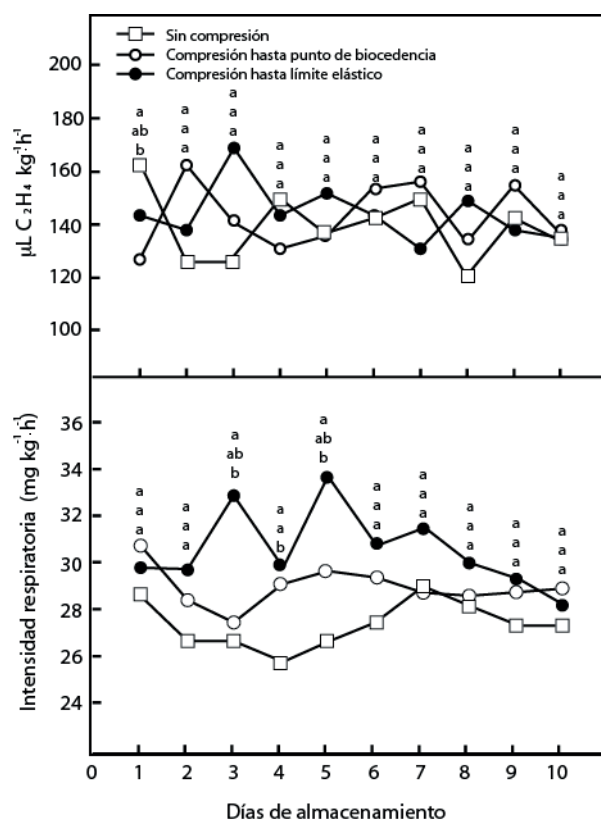


FIGURA 2. Intensidad respiratoria y producción de etileno de frutos de pitahaya almacenados durante 10 días a 20 ± 2 °C. Cada punto representa la media de seis observaciones. Medias con la misma letra por día no son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$).

Los valores de CO₂ y de C₂H₄ para SC y CPB variaron entre 26-31 mg CO₂·kg⁻¹·h⁻¹ y 130-170 µL C₂H₄·kg⁻¹·h⁻¹. Magaña *et al.* (2006) reportan valores de CO₂ del orden 45-55 mg CO₂·kg⁻¹·h⁻¹ (almacenamiento a 4 °C y evaluación a temperatura ambiente durante siete días) y de 25-34 mg CO₂·kg⁻¹·h⁻¹ (almacenamiento a 8 °C y evaluación a temperatura ambiente durante siete días). Rodríguez *et al.* (2005) reportan valores entre 16.1-46.3 mg CO₂·kg⁻¹·h⁻¹ para frutos de pitahaya amarilla almacenados a temperatura del ambiente.

Variables fisicoquímicas

La acidez titulable disminuyó durante el periodo de evaluación (Cuadro 1), observándose que en CLE fue significativa ($P \leq 0.05$) durante los días 2 y 3, lo que coincide con el incremento en la respiración para el mismo tratamiento. Este descenso se debe posiblemente a que sustancias orgánicas como los azúcares, el almidón y los ácidos orgánicos sufren una degradación oxidativa durante el proceso de respiración, transformándose a moléculas más simples, es decir, estas sustancias son consideradas sustratos del metabolismo respiratorio. Usualmente los ácidos orgánicos son utilizados por el metabolismo para incorporarse en el ciclo de Krebs (Taiz y Zeiger, 2010). Los ácidos pueden ser considerados como reserva de energía del fruto y declinan conforme avanza el tiempo (Wills, 1998). El valor del pH tuvo un incremento aproximado entre 5.2 hasta 5.8, sin mostrar diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Cuadro 1). Valores similares son reportados para pitahayas amarillas (5-5.3 a 18 °C) (Rodríguez *et al.*, 2005).

Los tratamientos evaluados tuvieron una disminución en los SST (12.5-9 °Brix) sin mostrar diferencia estadística significativa entre ellos (Cuadro 1). La respuesta metabólica del fruto por el estímulo de la compresión, aunque ésta haya sido de manera instantánea, pudo haber ocasionado una mayor velocidad de degradación de azúcares. Centurión *et al.* (2008) reportan valores de 12.6 °Brix al momento de la cosecha del fruto.

Hubo un incremento gradual en la velocidad de pérdida de agua de los frutos durante el periodo de almacenamiento, aunque entre tratamientos no se encontraron diferencias estadísticas significativas (Figura 3). Este resultado no refleja el efecto fisiológico del fruto a la carga de compresión mecánica; sin embargo, se observó, prematuramente, necrosis por deshidratación en las brácteas de los frutos CPB (Figura 4). Pantastico (1975) señala que una pérdida de peso del 5 % es suficiente para producir arrugamiento, lo cual hace que los frutos tengan poca calidad y por lo tanto sean poco atractivos para el consumidor. La aparición de estos síntomas ocurrió en los días 4, 6 y 8 para los tratamientos CPB, CLE y SC, respectivamente. Asimismo, el daño causado por el plato de compresión fue punto de aparición de hongos y podredumbre.

CUADRO 1. Acidez, pH y sólidos solubles totales, para cada tratamiento durante los días de almacenamiento.

Variable	Días de almacenamiento							
Tratamiento	1	2	3	4	5	6	7	8
Acidez titulable (% ácido málico)								
SC	0.146a	0.121a	0.098a	0.068b	0.090a	0.075a	0.085a	0.090a
CLE	0.132a	0.102b	0.083b	0.085a	0.980b	0.075a	0.080a	0.085a
CPB	0.137a	0.124a	0.107a	0.081a	0.083a	0.098b	0.083a	0.086a
pH								
SC	5.35a	5.26a	5.47a	5.64a	5.75a	5.76a	5.71a	5.70b
CLE	5.33a	5.27a	5.46a	5.65a	5.76a	5.67a	5.62a	5.57a
CPB	5.25a	5.44a	5.53a	5.79a	5.77a	5.57a	5.50a	5.53a
SST (°Brix)								
SC	10.30a	12.50b	11.66a	11.00a	11.16a	11.33a	10.60a	9.33a
CLE	10.30a	11.66a	10.66a	10.45a	10.00a	9.66b	10.66a	9.66a
CPB	10.30a	11.50a	10.50a	11.16a	10.83a	10.66a	10.50a	9.00a

Valores con la misma letra en columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P\leq0.05$.

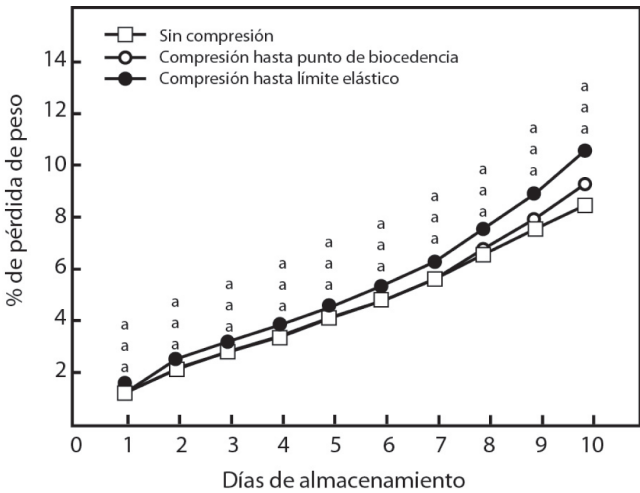


FIGURA 3. Pérdida de peso en frutos de pitahaya en almacenamiento a $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$. Medias con la misma letra por día no son diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P\leq0.05$.

CONCLUSIONES

Hasta el límite elástico, el tejido de la pitahaya requiere de una carga de 0.085 kN (deformación de $0.12\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$) y en el punto de biocedencia la carga fue de 0.153 kN (deformación de $0.21\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$). El concepto de umbral de carga desde el punto de vista mecánico no coincide con la respuesta fisiológica en frutos de pitahaya, debido a que en CPB hubo daño severo en

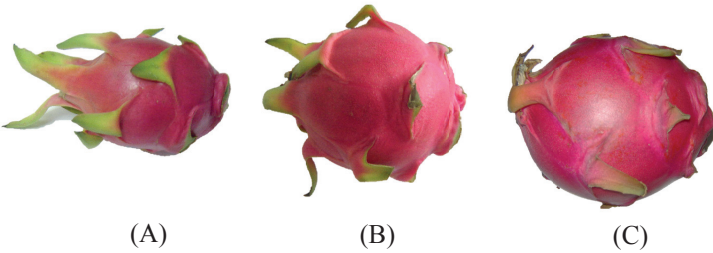


FIGURA 4. Apariencia de los frutos con compresión axial (CPB) en los días: inicial (A), 4 (B) y 10 (C) después de almacenamiento.

tejido interno. Los frutos con CLE mostraron incrementos en la velocidad de respiración, producción de etileno y disminución en la acidez titulable como respuesta a la compresión; en CPB se observó metabolismo senescente. La apariencia externa de los frutos fue aceptable hasta el día 4 para CPB, día 6 para CLE y día 8 para los frutos sin compresión; sin embargo, se recomienda almacenar los frutos de pitahaya con una carga de estibamiento inferior al del límite elástico, ya que el efecto de la permanencia de la carga en el tiempo se traduciría en estrés acumulativo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a la Doctora María Antonieta Goytia Jiménez las facilidades brindadas en el laboratorio de Jóvenes Investigadores y Emprendedores para la realización de este trabajo de investigación.

LITERATURA CITADA

- ALIA TEJACAL, 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). Revista Fitotecnía Mexicana. 28: 17-24.
- AOAC, Association of Official Analytical Chemists. 1998. Official Methods of Analysis. 16th ed. S William (ed). Published by the Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C. USA. CD-Rom.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING. 2006. ASAE standard, Compression test of food material of convex shape. ASAE S368.4 DEC2000(R2006).
- CENTURIÓN Y. A. R.; SOLÍS P. S.; SAUCEDO V. C.; BÁEZ S. R.; SAURI D. E. 2008. Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su desarrollo. Revista Fitotecnía Mexicana. 31(01): 1-5.
- HACISEFEROGULLARI H.; GEZER I.; OZCANM M.; MURATASMA B. 2006. Postharvest chemical and physical-mechanical properties of some apricot varieties cultivated in Turkey. Journal of Food Engineering.
- KADER A. A.; SALTVEIT M. E. 2003. Respiration and Gas Exchange. In: Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables. Bartz J. A.; Brecht J. K. (eds). 2nd ed. Marcel Dekker, Inc. New York, USA. pp: 7-29.
- KNEE M. 2002. Fruit Quality and Its Biological Basis. CRC Press. USA. 279 p.
- MAGAÑA B. W.; BALBIN A. M.; CORRALES G. J.; RODRÍGUEZ C. A.; SAUCEDO C. V. 2006. Principales características de calidad de las pitahayas (*Hylocereus undatus*) frigoconservadas en atmósferas controladas. Ciencias Técnicas Agropecuarias. 15(02): 52-57.
- MENDOZA W. A. M.; BAEZ S. R. 2000. Medición de la tasa respiratoria por sistema cerrado en melón cantaloupe. Horticultura Mexicana 8(2): 158-163.
- MOHSENIN N. N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Publisher, Inc. USA 757 p.
- NERDA.; GUTTMAN F.; MIZRAHI Y. 1999. Ripening and postharvest behaviour of fruits of two *Hylocereus* species (Cactaceae). Postharvest Biol. Technol. 17 (1999) 39-45.
- OSUNA E. T.; IBARRA Z. M. E.; MUY R. M. D.; VALDEZ T. J. B.; VILLARREAL R. M.; HERNÁNDEZ V. S. 2011. Calidad postcosecha de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw.) cosechados en tres estados de madurez. Revista Fitotecnía Mexicana, 34(1): 63-72.
- PANTASTICO E. B. 1975. Postharvest Physiology, Handling and Utilization of Tropical and Subtropical Fruits Vegetables. Westport, Coon. 560 p.
- PÉREZ L. A.; VILLASEÑOR P. C. A.; CANO V. A.; RANGEL F. D. MA.; ALIA T. I.; COLINAS L. MA. 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.
- RODRÍGUEZ C. A. 2000. Producción y comercialización de pitahayas en México. Claridades Agropecuarias. 28 Junio: 4-39.
- RODRÍGUEZ R. D. A.; PATIÑO G. M.; MIRANDA L. D.; FISCHER G.; GALVIS V. J. A. 2005. Efecto de dos índices de madurez y dos temperaturas de almacenamiento sobre el comportamiento en poscosecha de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw.). Revista de la Facultad Nacional de Agronomía Medellín. 58(02): 2827-2857.
- SADRNIA H.; RAJABIPOUR A.; JAFARI A.; JAVADI A.; MOSTOFI Y.; KAFASHAN J.; DINTWA E.; DE BAERDEMAEKER J. 2008. Internal bruising prediction in watermelon compression using nonlinear models. Journal of Food Engineering 86:272-280.
- SIGMAPLOT. 2009. SigmaPlot for Windows versión 11. Systat Software Inc. San Jose, CA, USA.
- SZCZESNIAK, A. S. 1983. Physical properties of foods. Institute of Technologists, Amherst, Massachusetts. pp. 1-37.
- TAIZ L.; ZEIGER E. 2010. Plant physiology. Sinauer Associates, Inc. 700 p.
- VILLASEÑOR P. C. A.; CHÁVEZ F. S. H.; SAUCEDO V. C.; SALAZAR Z. A.; LANDOIS P. L. L.; HERNÁNDEZ G. L. H. 2006. Comportamiento mecánico y fisiológico de frutos de melón (*Cucumis melo* L.) bajo compresión axial. Revista Fitotecnía Mexicana. 29 (abril-junio) 157-162.
- VURSAVUS K.; KELEBEK H.; SELLI S. 2006. A study on some chemical and physico-mechanic properties of three sweet cherry varieties (*Prunus avium* L.) in Turkey Journal of Food Engineering 74: 568-575.
- WILLS R. H. H.; MCGLASSON B.; GRAHAM D.; JOYCE D. 1998. Postharvest, An introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals. Press-CAB International. Sidney, Australia. 262 p.