

ANÁLISIS DE FRUTOS DE GUAYABA (*Psidium guajava* L.) BAJO COMPRESIÓN Y SU RELACIÓN CON LOS PROCESOS FISIOLÓGICOS

ANALYSIS OF GUAVA (*Psidium guajava* L.) FRUITS UNDER COMPRESSION AND ITS RELATION TO PHYSIOLOGICAL PROCESSES

José Antonio Yam Tzec*; Carlos Alberto Villaseñor Perea; Eugenio Romantchik Kriuchkova; Martín Soto Escobar; Miguel Ángel Peña Peralta

Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua. Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5, Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México. C. P. 56230, MÉXICO. Correo-e: ayam@correo.chapingo.com.mx (*Autor responsable).

RESUMEN

La importancia del cultivo de guayaba radica en el aporte económico para algunas regiones de México. Actualmente se cultiva de forma general en lugares con cierto tipo de condiciones equivalentes en México a zonas como Aguascalientes, Zacatecas y Michoacán. Durante la comercialización se presentan problemas relacionados con los daños mecánicos que se ocasionan durante la cosecha, transporte y almacenamiento. El objetivo del presente trabajo fue determinar la relación existente entre los daños mecánicos y la actividad fisiológica del fruto de guayaba. Se realizaron pruebas a frutos de guayaba de las variedades Calvillo (Cv1) y Criolla (Cv2) sometidas a compresión en dos posiciones del fruto (p1: horizontal y p2: vertical), tres distancias de la cruceta (d1: límite elástico, d2: punto de biocedencia y d3: punto de ruptura). Se midió la producción de etileno y CO₂ los cuales fueron significativos, encontrando que la producción de estos gases se incrementó a medida que se incrementó la carga de compresión. Dicha producción se incrementó notablemente para el segundo día que se aplicó la fuerza de compresión. El tratamiento Cv2d1p2 reportó una mayor carga de compresión. En variables de porcentaje de deformación se tuvo mayor deformación en los tratamientos Cv2p2, con valores de hasta 43 %. Para el caso del módulo de Young se encontraron valores de 0.37 MPa para tratamientos Cv2 y 0.32 MPa para tratamientos Cv1. Durante los cuatro días que se midieron las variables se observaron pérdidas de peso hasta de 13 %.

Palabras clave adicionales: *Psidium guajava* L., compresión, daños mecánicos, etileno, respiración.

ABSTRACT

The importance of the guava lies in the economical contribution for some regions in Mexico. The fruits are harvested in areas which have a certain type of conditions in Mexico, similar to those of Zacatecas, Aguascalientes and Michoacán. Several problems related to mechanical damage, such as those that happen during harvesting, transporting and storage appear during the commercialization. The objective of this paper was to determinate the relation between the mechanical damage and the guava fruits physiological activity. Fruits of the Calvillo (Cv1) and Criolla (Cv2) varieties were exposed to compression at horizontal (p1) and vertically (p2) positions. Three axial compression distances were evaluated: elastic limit (d1), bioyield point (d2) and rupture point (d3). The production of ethylene and CO₂ were measured and they were found to be significant due to the fact that the production of these gases increased as the compression load increased, which was more noticeable by the second day of applied force of compression. The Cv2d1p2 treatment supported the highest compression load. The percentage of deformity was also measured, finding a higher rate of deformation in the Cv2p2 treatment with values of up to 43 %. In the case of Young module, values of 0.37 MPa for the Cv2 fruits and 0.32 MPa for the Cv1 fruits were reported. Variables were measured during the four days, finding weight loss of up to 13 %.

Additional key words: *Psidium guajava* L., compression, mechanical damage, ethylene, respiration.

INTRODUCCIÓN

La guayaba (*Psidium guajava* L.) está clasificada como uno de los frutos más conocidos y estimados en la mayor parte del mundo. La producción mundial es de alrededor 1.2 millones de toneladas. La India y Pakistán aportan el 50 %, México produce el 25 % y el resto lo aportan países como Colombia, Egipto y Brasil. En México la producción de guayaba es del orden de las 300 mil toneladas anuales, donde destacan por su aportación los estados de Michoacán (37 %), Aguascalientes (35 %), Zacatecas (21 %) y el 7 % restante lo aportan el Estado de México, Jalisco y Querétaro. El valor de la producción alcanza los 1,200 millones de pesos, según la Gaceta del Senado de México (2007).

La buena calidad en frutos de guayaba implica en general buen aspecto del producto y defectos leves como raspaduras, rozaduras, costras, manchas o quemaduras de sol, que no afecten la conservación y que permitan cumplir con un proceso de selección riguroso, dados los criterios de la norma mexicana NMX-FF-040-SCFI-2002 de la Secretaría de Economía (2002).

Los principales causantes de los daños en los frutos agrícolas pueden ser térmicos, biológicos físicos y mecánicos. Para el caso de daños mecánicos, éstos pueden dividirse en causados por impacto, compresión, abrasión o vibración (Mohsenin, 1970). Debido a esto es importante estudiar las propiedades mecánicas de los frutos, las cuales se definen como aquellas que se relacionan con el comportamiento de los materiales cuando se aplican fuerzas características de esfuerzo-deformación bajo cargas estáticas y dinámicas (Villaseñor *et al.*, 2006).

Para el caso de la guayaba los daños mecánicos son determinantes de la calidad del producto y cuanto menor vida de anaquel tenga éste, mayor será la repercusión económica. Las principales acciones a favor de este producto radican en alargar la vida poscosecha hasta 30 d para apoyar las estrategias de comercialización, aplicar procesos de preenfriado del fruto, desarrollo de acciones de extensión para aplicar los resultados de investigaciones en el manejo en fresco como para el uso industrial y estar atentos a las oportunidades de mercado, donde el manejo se dé mediante cajas con 12, 15, 24 frutos (Kader, 2002).

La cosecha mecánica puede reducir o aumentar el costo de la cosecha, en dependencia de las labores adicionales que se deben hacer para preparar al cultivo a la mecanización. Según algunos datos la mecanización en la cosecha ha hecho, al momento, que exista una diferencia del 30-60 % de los costos con relación a la cosecha manual (Shewfelt, 1993).

La relación entre los productos agrícolas y sus propiedades físicas data desde 1940, con los trabajos de Gorianchky, quien en esa época realizó el estudio de las propiedades físicas de los productos agrícolas consistente en enfocar el producto vegetal como cualquier otro material, es decir, como un cuerpo físico que posee propiedades, tanto mecánicas como ópticas o acústicas (que forman parte de las mecánicas). Con tal enfoque, se ensayan

los materiales vegetales con los mismos modelos y teorías utilizados para cualquier otro material de la ingeniería, pero con la especificidad propia del producto vegetal (Ruiz, 2004).

La American Society of Agricultural Engineers (ASAE, 2000) de Estados Unidos ha dedicado un grupo importante a la determinación de propiedades mecánicas de productos agrícolas. Entre las normas desarrolladas está la ASAE S368.4 DEC00 que trata sobre la prueba de compresión de productos agrícolas y que ha servido de base a las pruebas en el presente estudio.

Existen pruebas en diferentes frutos. Por ejemplo, en Colombia se ha hecho la determinación de propiedades físicas y mecánicas de papa; en el Departamento de Ingeniería Rural de la Escuela de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid hay estudios en hortalizas y en hojas de tabaco; en México existen algunos trabajos sobre propiedades físicas de piña, cítricos, papaya, zarzamora y en frutos de melón, que combina las características mecánicas con la fisiología (Villaseñor *et al.*, 2006).

Algunos estudios muestran que la pérdida por acción mecánica va del orden del 12 % de la producción total. Uno de los índices de cosecha es el patrón de respiración en el que la guayaba es catalogada por la mayoría de los autores como un fruto climatérico (Wills, 1981).

Los objetivos del estudio fueron determinar las propiedades mecánicas de frutos de guayaba, la tasa de respiración y la producción de etileno provocada por la acción de la aplicación de fuerzas de compresión y contrastar para obtener la relación entre el daño aplicado y las propiedades fisiológicas, así como determinar pérdidas de peso durante el almacenamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las pruebas mecánicas se realizaron en el Laboratorio de Materiales del Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola y las pruebas fisiológicas en el laboratorio de usos múltiples del Departamento de Fitotecnia, ambos en la Universidad Autónoma Chapingo, con una máquina universal de ensayos mecánicos, modelo 4469, con velocidad de cruceta de $15 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ y celda de carga de 50 kN y el apoyo de un cromatógrafo de gases Varian Star modelo 3400 (USA).

Se emplearon frutos de guayaba de una parcela comercial en Zumpahuacan, Estado de México. Se muestrearon dos parcelas diferentes una con frutos de la Variedad Calvillo (v1) y otra con frutos criollos (v2). La Figura 1 ilustra la posición en que se colocaron los frutos en la máquina universal de ensayos mecánicos.

El diseño empleado correspondió a un arreglo $2 \times 2 \times 3$ con los factores. Uno de los factores fue la variedad, que se probó con dos niveles [calvillo (v1) y criolla (v2)]. El segundo factor fue la posición del fruto al momento de someterlos a compresión con

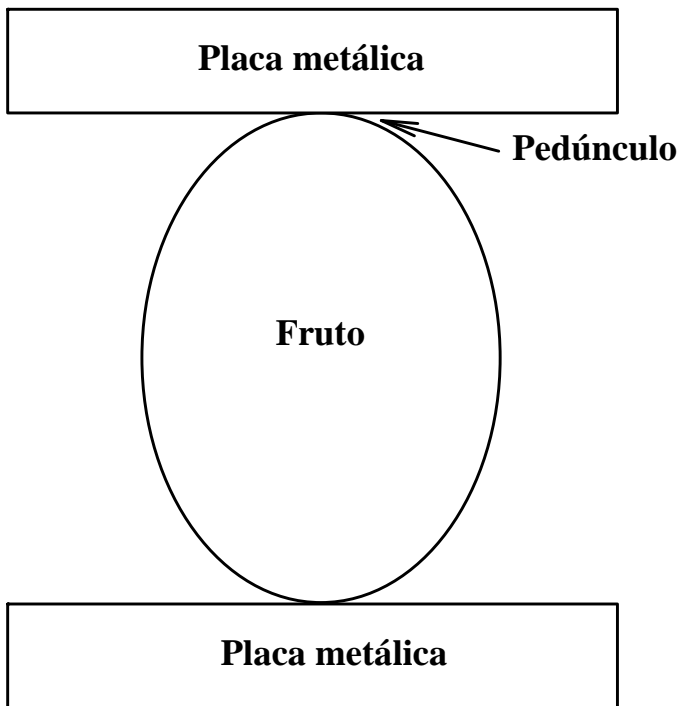


Figura 1. Posición del fruto sometido a compresión vertical. Las placas metálicas corresponden a las placas de la máquina universal de ensayos mecánicos.

dos niveles [vertical (p1) y horizontal o descanso natural (p2)] y, el tercer factor fue la distancia de desplazamiento de la cruceta de la máquina de ensayos mecánicos a los límites elástico (d1), punto de biocedencia (d2) y punto de ruptura (d3). Estas últimas, en dependencia con la posición del fruto, se establecieron con pruebas preliminares mediante una curva esfuerzo deformación en la forma mostrada por la Figura 2. Se empleó el diseño para la prueba de compresión con 10 tratamientos y 5 repeticiones.

En el estudio mecánico, se obtuvieron los datos instantáneos de carga máxima (kN), porcentaje de deformación (%), módulo de Young (MPa) para cada tratamiento y para su respectiva repetición.

Una vez que se determinó la distancia a la que los frutos serían sometidos a compresión respetando los puntos característicos, se dio inicio el proceso de compresión a una velocidad de 25 mm·min⁻¹, deteniéndose al llegar a la distancia programada.

En el estudio de la medición de respiración se empleó el método utilizado por Villaseñor *et al.* (2006), que consistió en colocar frutos de peso y volumen conocido en recipientes con igual volumen conocido, cerrados herméticamente, durante una hora y tomar una lectura de 1 mL de aire del espacio de la parte de arriba del recipiente hermético a través de un orificio en la tapa del recipiente diseñado para tal fin, luego inyectarla al cromatógrafo de gases, con un tiempo de 5 min por muestra y, con software diseñado para tal fin, se calculó el área y la cantidad de CO₂ y etileno que resulte de las muestras.

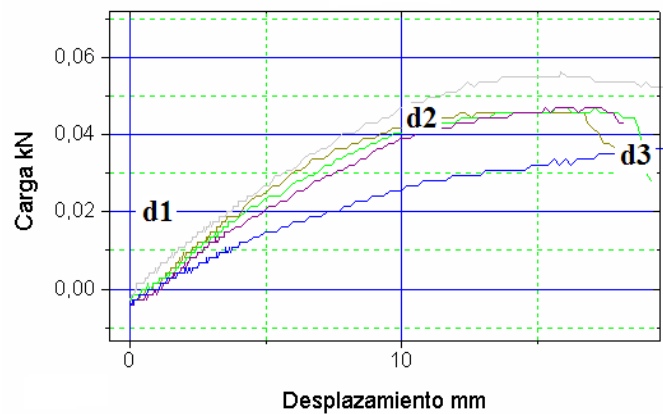


Figura 2. Gráfico Carga-Desplazamiento en frutos de guayaba de cinco muestras sometidas a compresión generados por el software de la máquina universal de ensayos mecánicos. d1 corresponde al punto de límite elástico, d2 a punto de biocedencia y d3 a punto de ruptura.

Se determinaron las pérdidas de peso en los frutos después de someterlos a los daños mecánicos mediante una balanza digital, durante cuatro días de almacenamiento y se calculó el porcentaje de pérdida de peso con base en el peso inicial. Una vez obtenido los datos obtenidos en el ensayo mecánico y en la medida de variables fisiológicas se analizaron estadísticamente mediante el programa SAS versión 6.12, con las pruebas de Tukey, con un $\alpha = 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la primera fase del proyecto se hicieron pruebas preliminares obteniendo valores de los puntos característicos de la guayaba. Para el caso de frutos de la variedad calvillo la distancia a límite elástico para la posición vertical correspondió a 12.50 mm y horizontal a 10.00 mm, a punto de biocedencia para la misma variedad correspondieron las distancias d 17.00 y 13.00 mm para posición vertical y horizontal, respectivamente.

Para los frutos criollos se observó que el límite elástico para posición vertical y horizontal fue de 9.80 y 12.00 mm, respectivamente, mientras que para el punto de biocedencia las distancias fueron 12.20 y 14.00 mm. Para el caso de los frutos cuyo tratamiento se refería a puntos de ruptura no se hicieron mediciones dado que se llegó al daño total del fruto y por tanto terminó su vida fisiológica.

Para la carga de compresión los datos obtenidos se concentran en el Cuadro 1. Se encontraron diferencias significativas entre las dos variedades, los datos indican que la variedad criolla (v2) soportó una mayor carga en el punto de límite elástico y en posición horizontal, con respecto a la variedad calvillo (v1). La variedad calvillo en el punto de límite elástico y posición vertical que corresponde al tratamiento v1d1p1 presentó la menor carga soportada. Por otro lado, para las dos variedades fue la posición horizontal la que permitió un mayor soporte de carga de compresión.

Cuadro 1. Medias de los efectos de los factores variedades y posiciones de cruceta sobre la carga, en frutos de guayaba, VAR= variedad, POS= posición del fruto al someterlo a la compresión, DIS= punto característico ns= no significativo.

		Carga (N)	
		Vertical	Horizontal
Calvillo	Límite elástico	36,7	52,88
	Biocedencia	42,16	46,72
	Ruptura	37,32	54,24
Criolla	Límite elástico	33,04	55,04
	Biocedencia	53,44	47,78
	Ruptura	46,72	47,78
significancia			
VAR	Ns		
DIS	Ns		
VAR*DIS	Ns		
POS	0.01		
VAR*POS	Ns		
DIS*POS	0.05		
VAR*DIS*POS	Ns		

Ns, 0.05,0.01,0.001: No significativo, valores de alpha.

El punto de biocedencia (d2) fue donde se soportó mayor carga, lo cual tiene explicación con base en el diagrama esfuerzo-deformación de la Figura 1, donde los valores más altos correspondieron al de biocedencia, hasta que se presentó otro pico en la ruptura y cayó la línea.

Para deformación el Cuadro 2 muestra las medias de los tratamientos sometidos a compresión en porcentaje de deformación y de acuerdo con los datos se obtuvo que la variedad criolla en posición horizontal, tratamiento v2p2, se deformó en mayor proporción que los de la variedad calvillo para la misma posición y para el mismo punto característico. Se encontraron diferencias significativas en cuanto a la posición del fruto observándose una mayor deformación en la posición horizontal (p2).

Asimismo, hubo diferencias significativas de deformación ($\alpha=0.05$) entre las variedades calvillo y criolla sometidas a compresión. En tanto que para la variedad calvillo se tuvo una media de 32.77 %, para la variedad criolla el valor fue de 34.15 %. Se pudo observar que existió mayor deformación en el punto de biocedencia (d2), siendo en la posición horizontal donde se observó la mayor deformación con una media de 37.03 %.

El módulo de Young, reportado en el Cuadro 3, muestra las medias de los tratamientos sometidos a compresión. Los valores mayores en este parámetro correspondieron a la variedad calvillo (v1), en comparación con la variedad criolla (v2) en donde no existieron diferencias significativas con una $\alpha = 0.05$. También hubo diferencia significativa considerando la posición del fruto, obteniendo la posición vertical (p1) la mayor resistencia en la

Cuadro 2. Medias de los efectos de los factores variedades y posiciones de cruceta sobre la deformación, en frutos de Guayaba, expresados en porcentaje. VAR= variedad, POS= posición del fruto al someterlo a la compresión, DIS= punto característico ns= no significativo.

		Deformación	
		Vertical	Horizontal
Calvillo	Límite elástico	25.014	32.552
	Biocedencia	34.022	39.332
	Ruptura	25.054	40.646
Criolla	Límite elástico	24.574	35.032
	Biocedencia	30.54	43.516
	Ruptura	30.028	41.22
significancia			
VAR	0.001		
DIS	0.001		
VAR*DIS	0.05		
POS	0.001		
VAR*POS	0.05		
DIS*POS	0.001		
VAR*DIS*POS	0.001		

Ns, 0.05,0.01,0.001: No significativo, valores de alpha.

variedad calvillo: la posición vertical de las dos variedades de frutos tuvo una media de 0.4745 y la horizontal un valor de 0.2973, considerando la posición del fruto observamos que se tienen diferencias significativas entre las dos variables, según prueba

Cuadro 3. Medias de los efectos de los factores variedades y posiciones de cruceta sobre el modulo de Young, en frutos de Guayaba sometidos a compresión, datos en MPa. VAR= variedad, POS= posición del fruto al someterlo a la compresión, DIS= punto característico ns= no significativo.

		Módulo de Young (MPa)	
		Vertical	Horizontal
Calvillo	Límite elástico	0.055116	0.2596
	Biocedencia	0.69356	0.3099
	Ruptura	0.27388	0.32208
Criolla	Límite elástico	0.35766	0.33514
	Biocedencia	0.45552	0.33276
	Ruptura	0.51508	0.22456
significancia			
VAR	ns		
DIS	ns		
VAR*DIS	ns		
POS	0.001		
VAR*POS	ns		
DIS*POS	ns		
VAR*DIS*POS	0.05		

Ns, 0.05,0.01,0.001: No significativo, valores de alpha.

de Tukey a una $\alpha=0.05$. Por tanto, los frutos de guayaba en cualquier variedad presentan una mayor rigidez en el tejido cuando son sometidos a daños en posición vertical y por ende son más resistentes a la deformación.

La Figura 3 muestra las medias de producción de CO_2 para los tratamientos por día en que se realizó el experimento. Sobresalen la producción de frutos criollos en la distancia de límite elástico y posición horizontal (tratamiento v2d1p2) y variedad calvillo para puntos característicos de límite elástico y punto de biocedencia en la posición horizontal (tratamientos v1d1p2 y v1d2p2). Dicha producción de CO_2 representó valores por debajo de lo reportado por López y Mercado (2005), lo cual se puede justificar debido a que los frutos que se analizaron recibieron pocos daños.

La Figura 4 ilustra el comportamiento para la producción de etileno en los frutos para los cuatro días por tratamiento. De la misma forma como ocurrió con respiración se tuvo una baja producción de etileno en el tratamiento de los frutos testigo, con lo cual se comprobó que los frutos sometidos a daños mecánicos incrementan su actividad fisiológica. Al igual que la producción de CO_2 , los valores de etileno tuvieron valores por debajo de lo

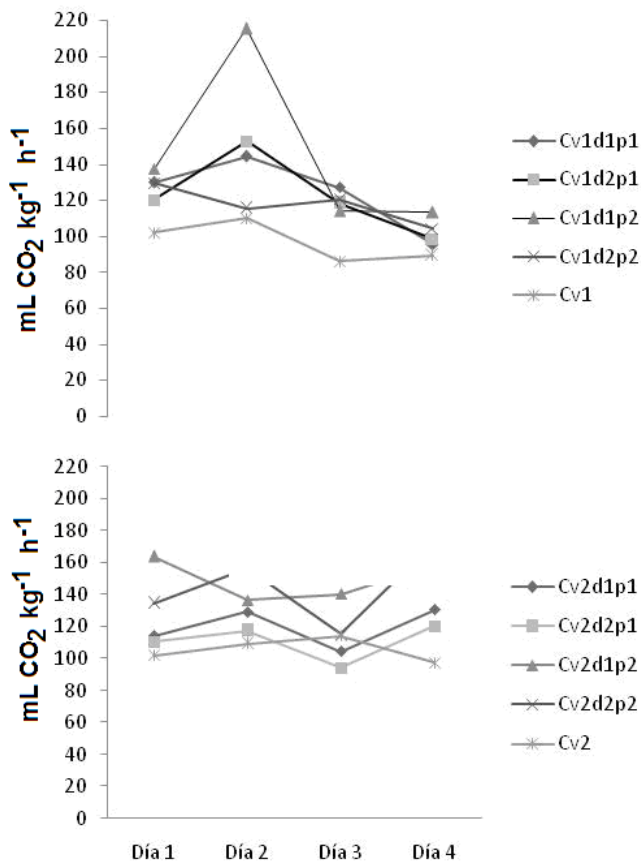


Figura 3. Producción de CO_2 en frutos de Guayaba en las variedades calvillo (v1) y criolla (v2) sometidos a compresión en la posición vertical (p1) y horizontal (p2) en tres distancias de cruceta en límite elástico (d1), punto de biocedencia (d2) y ruptura (d3).

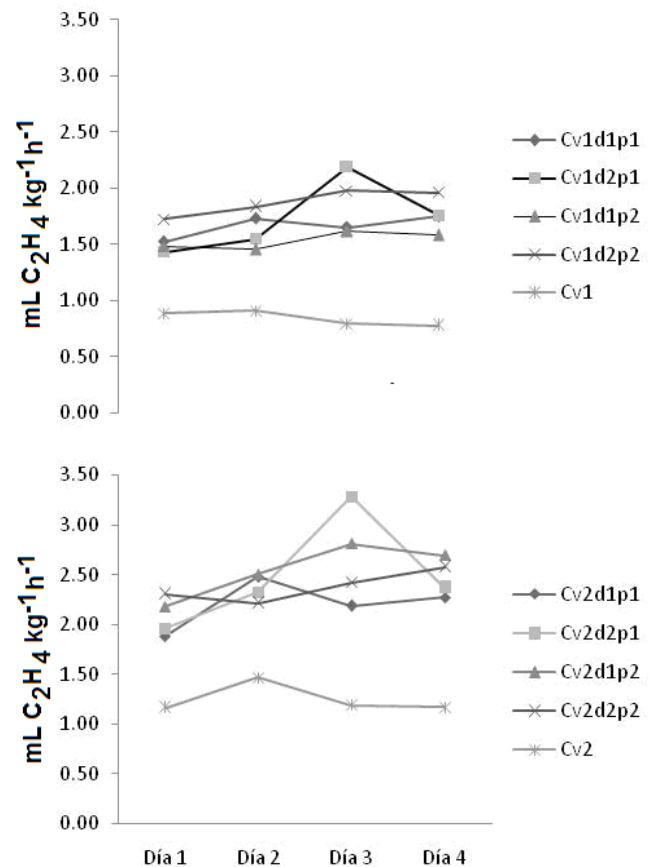


Figura 4. Producción de etileno en frutos de Guayaba en las variedades calvillo (v1) y criolla (v2) sometidos a compresión en la posición vertical (p1) y horizontal (p2) en tres distancias de cruceta en límite elástico (d1), punto de biocedencia (d2).

reportado por López y Mercado (2005), lo cual se puede justificar nuevamente porque fue debido a que los frutos analizados recibieron pocos daños.

Se pudo observar que para el día uno la mayor producción de etileno fue pronunciada para los frutos de la variedad criolla y específicamente para la distancia al punto de biocedencia y en la posición horizontal (tratamiento v2d2p2), contrario a la menor producción de la variedad calvillo para la distancia de cruceta en punto de biocedencia y en la posición vertical (v1d2p1). La información obtenida de las medias de los tratamientos de frutos de Guayaba sometidos a compresión para el primer día reveló que existieron diferencias estadísticas según prueba de Tukey ($\alpha=0.01$) para todos los tratamientos. Para el día segundo la producción de etileno fue estadísticamente diferente en donde se observa que la variedad criolla sobresalió sobre la variedad calvillo y sobre la posición horizontal, obteniendo valores de hasta $2.505 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ de etileno.

Durante tres días que se tomaron datos para los diferentes tratamientos al someter los frutos a compresión y se registraron las pérdidas de peso que se muestran en la Figura 5. Para el caso de frutos de la variedad calvillo se tuvieron pérdidas mayores a

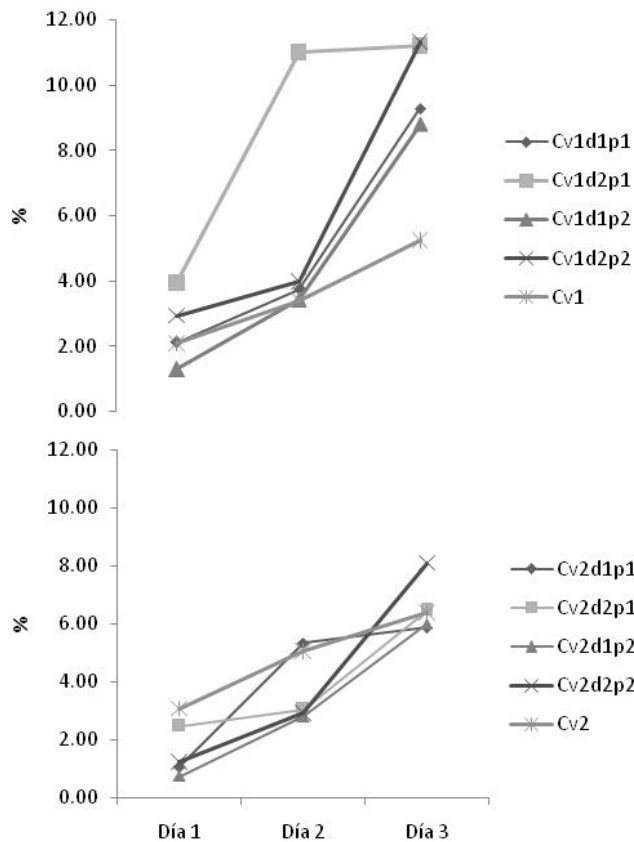


Figura 5. Pérdida de humedad (%) para frutos de guayaba de la variedad calvillo y criolla sometidos a compresión en dos posiciones.

11 % para la posición horizontal y en el punto de biocedencia. En el caso de los frutos de la variedad criollas se obtuvo pérdida mayor de 13 % para la posición horizontal y en el punto de biocedencia.

CONCLUSIONES

La reacción fisiológica se aceleró en los frutos de guayaba, al incrementar la carga de compresión. Los frutos criollos soportaron la mayor carga en la posición horizontal en aproximadamente 4 % más que la posición vertical en el punto de límite elástico lo que se tradujo en los valores más altos de producción de CO_2 y etileno para el mismo punto característico.

Las mayores pérdidas de peso ocurrieron en los productos sometidos a compresión en el punto característico de biocedencia con aproximadamente 6 % más, en relación con los frutos sometidos a compresión en el punto característico de límite elástico. Los frutos de guayaba sometidos a compresión en la posición vertical reportaron menor carga de compresión para alcanzar los puntos característicos de límite elástico, punto de biocedencia y ruptura, así como la deformación pronunciada, lo que ocasionó mayores daños y rápida pérdida de peso en aproximadamente 10 % más en comparación con los frutos colocados en la posición horizontal.

LITERATURA CITADA

- ASAE. 2000. Compression of food materials of convex shape. Reviewed by the ASAE Physical properties of Agricultural Products Committee, St. Joseph MI, December 2000.
- Kader A.A. 2002. Recomendaciones para mantener la calidad poscosecha guayaba. Traducción de Clara Pelayo. Departamento de Biotecnología de la Universidad Autónoma Metropolitana. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México,
- López E.; Mercado-Silva E. 2005. Cambios fisiológicos y de calidad en guayaba mínimamente procesada. Conferencia Internacional en Ciencia y Tecnología de Alimentos, La Habana Cuba. pp: 41-47.
- Mohsenin N.; 1970. Physical properties of plant and animal materials. New York: Gordon and Breach Science Publisher. pp: 587-593.
- Ruiz A. M. 2004. Calidad y Manipulación de los Productos Agrícolas - Hortofrutícolas: el Papel de la Mecanización y la Ingeniería en la Producción de Alimentos en la Transformación Industrial de la Industria Agropecuaria. Ministerio de Educación de España, España. pp: 45-54.
- Secretaría de Economía. 2002. Norma Mexicana NMX-FF-040-SCFI-2002, Productos Alimenticios No Industrializados para Consumo Humano, Fruta Fresca, Guayaba. pp: 10.
- Senado de la República. 2007. Gaceta del Senado, Número 18.
- Shewfelt R. 1993. Postharvest Handling: A System Approach. San Diego CA, Academic Press.
- Villaseñor-Perea C.A.; Chávez F.S.H.; Saucedo V.C.; Salazar Z.A.; Landois P.L.; Hernández G.L. H. 2006. Comportamiento mecánico y fisiológico de frutos de melón (*Cucumis melo* L.) bajo compresión axial. Revista Fitotecnia Mexicana 29(2): 157-162.
- Wills R.B.; Lee F.H.; D. Graham. 1981., Postharvest an Introduction to the Physiology and Handling of Fruit and Vegetables. Westport Coon, Australia. pp: 126-136.