

PROPIEDADES MECÁNICAS DE FRUTOS DE PAPAYA 'MARADOL ROJA' BAJO COMPRESIÓN ESTÁTICA

E. Vázquez-García¹; S. Chávez-Franco²; R. Ariza-Flores¹; E. Yahia-Kazuz³;
A. Salazar-Zazueta¹; C. Saucedo-Veloz²; M. T. Colinas-León⁴

¹Campo Experimental Sur de Tamaulipas, INIFAP. Apartado Postal C-1, Sucursal Aeropuerto, Tampico, Tamaulipas. C. P. 89339. México. Fax: 60024. Correo-e: evazquez30@hotmail.com (¹Autor responsable).

²Especialidad de Fruticultura del Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco, km 35.5, Montecillo, Estado de México. C. P. 56230. México. Tel. (595) 20233.

³Universidad Autónoma de Querétaro, Postgrado en Alimentos. Cerro de las Campanas, Zona Centro. Querétaro, Querétaro. C. P. 76100. México. Correo-e: yahia@sunserv.dsi.uaq.mx

⁴Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. México.

RESUMEN

La papaya es una fruta muy susceptible a los daños mecánicos; por tal motivo se cuantificó su resistencia a la compresión mediante pruebas de relajación del esfuerzo y relajación de la deformación en el cultivar Maradol Roja. En la prueba de relajación del esfuerzo los frutos se sometieron a una deformación constante de 5 % hasta alcanzar el tiempo de relajación, es decir, el tiempo que tardó en disminuir el 36.8 % del esfuerzo inicial. En la prueba de relajación de la deformación los frutos se sometieron a una compresión de 250 N durante 24 horas y se registró el aumento de la deformación en función del tiempo. Se evaluaron dos factores: a) estado de madurez, que incluyó a el estado de madurez 1 (M1) (Croma 16.1); madurez 2 (M2) (Croma 22.0) y madurez 3 (M3) (Croma 27.7) y b) posición de compresión del fruto, que incluyó a las posiciones horizontal, vertical e inclinada. Se registraron menores índices de relajación en los frutos en M1 y M2, lo cual significó mayor resistencia a la compresión, con relación a los frutos en M3. Los frutos en posición horizontal también registraron menores índices de relajación y mayor resistencia a la compresión estática, con relación a las posiciones vertical e inclinada.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Carica papaya* L., manejo postcosecha; relajación del esfuerzo; tiempo de relajación; relajación de la deformación.

MECHANICAL PROPERTIES OF PAPAYA FRUITS 'MARADOL ROJA' UNDER STATIC COMPRESSION

SUMMARY

In this research, the mechanical behavior of papaya fruits cv. Maradol Roja under static compression was analyzed. The mechanical variables determined were stress relaxation and strain relaxation. Testing of stress relaxation consisted of subjecting the fruits to constant deformation of 5 % with an Instron Universal Testing Machine Model 1130 and registering the decrease in stress as a function of time. In this case, relaxation time (time taken to decrease the initial stress 36.8 %) and relaxation range were registered. For strain relaxation, the fruits were deformed with static compression of 250 N during 24 hours with a compress-meter. In this test the increase of the deformation as a time function was registered. In each experiment three maturity stages (M1, Chroma 16.1; M2, Chroma 22.0 and M3, Chroma 27.7), and three compression positions (horizontal, vertical and inclined) were evaluated. Fruits in M1 and M2 stages had the highest values in relaxation time and the lowest values in relaxation range; these parameters indicate that the fruits in M1 and M2 had more resistance to compression, relative to fruits in M3 stage. Fruits in horizontal position registered the lowest index of relaxation and more resistance to static compression, with relationship to vertical and incline positions.

ADDITIONAL KEY WORDS: *Carica papaya* L., postharvest management, stress relaxation, relaxation time, strain relaxation.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Mohsenin (1970), las propiedades mecánicas de los materiales son aquellas relacionadas con la deformación y el flujo de éstos cuando son sometidos a la acción de fuerzas. En este sentido, diversos autores han

clasificado los materiales por su comportamiento mecánico en tres tipos: a) los sólidos, que son capaces de mantener por sí mismos una forma y tamaño definido y de resistir hasta cierto límite, la acción de fuerzas sin sufrir deformación; b) los líquidos, que tienden a asumir la forma del recipiente donde están contenidos y sufren deformación

y flujo con la acción de la mínima fuerza y c) los viscoelásticos, que combinan características de sólidos y líquidos y su deformación está en función del tiempo en que se aplique un determinado esfuerzo. En esta última clasificación se ubican los materiales agrícolas, incluyendo todas las frutas y hortalizas (Mohsenin, 1970; Peleg y Calzada, 1976).

El conocimiento de las propiedades mecánicas de los frutos tiene importantes aplicaciones para el diseño de equipos de cosecha, clasificación y empaque que minimicen los daños durante su comercialización, ya que ese tipo de conocimiento permite calcular el tiempo y la deformación que es capaz de resistir un producto antes de sufrir daños, cuando éste es expuesto a la acción de fuerzas (Mohsenin, 1972). En el caso de los frutos de papaya, el estudio de sus propiedades mecánicas se justifica por la gran susceptibilidad que presentan a los daños por compresión, lo que repercute en grandes pérdidas postcosecha, en especial del cultivar Maradol Roja, que en la actualidad registra la mayor expansión en México (ASERCA, 1999).

La susceptibilidad de los frutos de papaya a los daños mecánicos fue documentada por Paull *et al.* (1997) quienes señalaron que el Departamento de Agricultura de Estados Unidos inspeccionó 60 mil cajas de papaya hawaiana, determinando que en 72 % de las cajas hubo frutos con daños por compresión, como consecuencia de un incorrecto estibamiento y exceso de peso. Thompson y Mitchell (1985) destacaron que los mayores daños por compresión en los frutos de papaya, suceden una vez que son colocados en los contenedores y que la principal causa de ello se debe al desconocimiento de sus propiedades mecánicas. Diversos autores han destacado que el entendimiento de las propiedades mecánicas de los materiales biológicos no es fácil, ya que por lo general son anisotrópicos, no homogéneos, no lineales y viscoelásticos; además, cambian sus propiedades mecánicas con la edad, el contenido de humedad y la temperatura, por lo que su estudio debe ser abordado, de preferencia, desde un punto de vista empírico, ya que las ecuaciones necesarias para describir su comportamiento mecánico son sumamente complicadas y es prácticamente imposible obtener todos los parámetros que en ellas se incluye (Mohsenin, 1970; Peleg, 1979; Anzaldúa-Morales, 1994).

Peleg (1979) señaló que las propiedades mecánicas de los materiales se pueden demostrar sometiéndolos a pruebas de “relajación del esfuerzo” o “relajación de la deformación”. El primero de estos conceptos es definido por Mohsenin (1970) como “la disminución del esfuerzo en función del tiempo cuando un material es deformado a un valor constante”; esto implica que si un material viscoelástico se somete a una deformación constante, el esfuerzo necesario para mantener ese nivel de deformación disminuye en función del tiempo. Por otra parte, la relajación de la deformación es definida por Mohsenin (1970) como

“el incremento de la deformación en función del tiempo cuando un material es sujeto a una carga constante”; esto significa que si un material viscoelástico se somete a un esfuerzo constante, su intervalo de deformación se incrementa en función del tiempo.

Entre las principales ecuaciones que se han utilizado para analizar las curvas de relajación de alimentos cuando se someten a esfuerzos, destacan las siguientes: la primera se refiere al “tiempo de relajación”, definido por Mohsenin (1970) como “el tiempo que tarda un material sujeto a deformación constante en disminuir 36.8 % del esfuerzo inicial”. De acuerdo con Chang y Martin (1983), el tiempo de relajación es el parámetro más importante de las pruebas de relajación y constituye la medida en la cual el material disipa el esfuerzo inicial cuando es sometido a una deformación constante. Mohsenin (1970) consideró que a mayor tiempo de relajación el material expresa mayor resistencia a la compresión. Peleg y Calzada (1976) utilizaron el esfuerzo residual después de un periodo largo de relajación (siete minutos), como un índice de fractura interna ocurrida durante la deformación del fruto, sin embargo, tiempo después Peleg (1979) consideró que ese método ignoraba una gran parte de la información generada en la curva de relajación y propuso la siguiente ecuación para analizar dicha curva:

$$Y(t) = \frac{F_0 - F(t)}{F_0}$$

donde: F_0 = Fuerza registrada inicialmente

$F(t)$ = Fuerza registrada después de un minuto de relajación

$Y(t)$ = Intervalo de disminución de la fuerza

El valor resultante de este modelo es el “intervalo de disminución de la fuerza” o “intervalo de relajación”, con valores resultantes entre 0 y 1; lo que indica que a menor valor, el material se acerca a un comportamiento de tipo sólido y a mayor valor el material se aproxima al comportamiento de tipo líquido. Otra ecuación utilizada en este tipo de estudios es la de Stanley y Emmons (1977), quienes presentaron un parámetro de relajación expresado como porcentaje de relajación y se describe a continuación:

$$\text{Relajación (\%)} = \frac{F(1 \text{ min})}{F_0} \times 100$$

donde: F_0 = Fuerza registrada inicialmente

$F(1 \text{ min})$ = Fuerza registrada después de un minuto de relajación

De acuerdo con estos autores, los porcentajes más altos de relajación implican menor resistencia a la compresión del material evaluado y viceversa. Con base en los anteriores antecedentes y debido a la escasez de

información relacionada con el comportamiento mecánico de frutos intactos de papaya sujetos a compresión estática, en especial del cv. Maradol Roja, se procedió a realizar el presente trabajo con el objetivo de caracterizar su comportamiento mecánico bajo compresión estática, evaluando tres estados de madurez y tres posiciones de compresión.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron frutos de papaya cv. Maradol Roja cosechados de una huerta de Guerrero, México. Los frutos se seleccionaron en tres estados de madurez, bajo el siguiente criterio: frutos de color verde claro en toda su superficie se clasificaron como M1 (valor promedio de Croma: 16.1); frutos de color verde claro con vetas amarillas entre el 20 y 40 % de la superficie, se consideraron como M2 (valor promedio de Croma: 22.0) y los de color amarillo entre el 80 y 100 % de la superficie, se clasificaron como M3 (valor promedio de Croma: 27.7). Una vez cosechados, los frutos se envolvieron con papel y se colocaron en jvas de plástico, evitando al máximo los daños mecánicos y se trasladaron de inmediato al laboratorio postcosecha del Colegio de Postgraduados para determinar su color (L^* , a^* , b^* , Croma), peso, longitud y diámetro. El color se determinó con un colorímetro Hunter Lab modelo D25-PC2.

Las variables que midieron la relajación del esfuerzo de los frutos fueron las siguientes: 1) el porcentaje de relajación a uno y 60 segundos (modelo de Stanley y Emmons, 1977); 2) el tiempo de relajación (Mohsenin, 1970) y 3) el intervalo de relajación (modelo de Peleg, 1979). Para obtener estas variables se realizó un experimento que consistió en comprimir los frutos al 5 % de deformación, en función de su tamaño y posición de compresión, con un Instron Universal Testing Machine 1130. Este nivel de deformación se mantuvo constante hasta alcanzar el tiempo de relajación, es decir, el tiempo que tardó en disminuir el 36.8 % del esfuerzo inicial (Mohsenin, 1970). Esta variable se pudo constatar en el mismo momento de aplicar la compresión al observar el papel graficador generado por el Instron, el cual midió la fuerza aplicada en Newtons (N) y el tiempo (segundos) en cada fruto (Figura 1).

Una vez obtenidas las gráficas se procedió a calcular las variables con los modelos señalados. Para medir la relajación de la deformación se realizó un segundo experimento, que consistió en comprimir los frutos con un peso constante de 250 N durante 24 horas. En este caso la variable que se midió fue el porcentaje de deformación de los frutos en los siguientes tiempos: inmediatamente después de aplicar el peso (primeros 10 segundos) y a una, 12 y 24 horas de haber iniciado la compresión (Stanley y Emmons, 1977). En este caso, la compresión se realizó con un aparato diseñado previamente para tal fin (Figura 2).

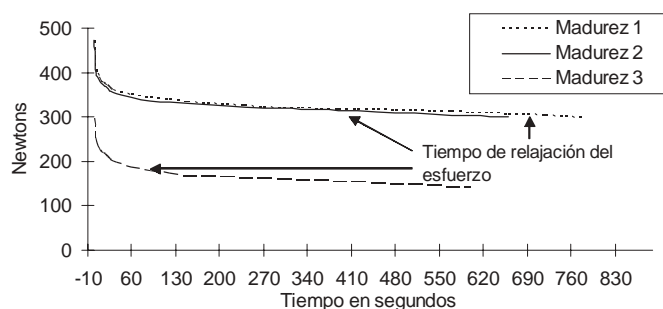


Figura 1. Curvas de relajación del esfuerzo generada por el Instron en frutos de papaya 'Maradol Roja' en posición horizontal y tres estados de madurez (5 % de deformación constante).

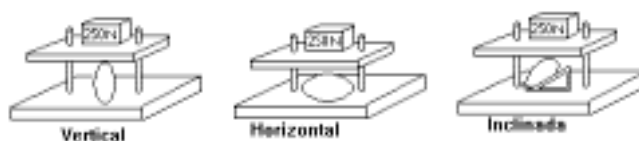


Figura 2. Aparato utilizado para comprimir frutos de papaya 'Maradol Roja' en posiciones vertical, horizontal e inclinada.

Los experimentos se establecieron bajo un diseño completamente al azar, con un arreglo de tratamientos factorial 3X3 y tres repeticiones, con un fruto por repetición, donde el factor "A" fueron tres estados de madurez (M1, M2 y M3 ya descritos) y el factor "B" fueron tres posiciones de compresión de los frutos: posición vertical, PV; posición inclinada a 60 °, PI y posición horizontal, PH (Figura 2). Los datos fueron analizados usando el procedimiento de análisis de varianza de acuerdo al diseño señalado y la comparación de medias se realizó de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los análisis de varianza realizados, se encontró significancia al 5 % de probabilidad en todas las variables evaluadas en el factor madurez de los frutos (Cuadros 1, 2, 3 y 4), lo cual implicó diferencias estadísticas significativas por efecto de la madurez de los frutos.

Al respecto, las pruebas de Tukey ($P \leq 0.05$) indicaron que los frutos en M3 fueron diferentes estadísticamente a los frutos en M1 y M2 en todas las variables y que éstos últimos fueron iguales estadísticamente entre sí en casi todas las variables, excepto en el tiempo e intervalo relajación del esfuerzo.

La trascendencia de estos resultados estriba en que se cuantificó la resistencia de los frutos en sus diferentes estados de madurez a los posibles daños por compresión en postcosecha.

CUADRO 1. Cuadrados medios y significancia de las variable porcentaje de relajación del esfuerzo a 1 y 60 segundos en frutos de papaya 'Maradol Roja'.

FV	GL	Relajación de Esfuerzo (%)			
		a 1 s		a 60 s	
		CM	P>F	CM	P>F
PC	2	0.87	0.877 ^{NS}	90.62	0.061 ^{NS}
MF	2	32.56	0.019 *	728.34	0.000 *
PC X MF	4	3.12	0.757 ^{NS}	42.01	0.213 ^{NS}
Error	18	6.60		25.98	
Total	26				
CV (%)		26.0		15.03	

NS,*; no significativo y significativo a una $P \leq 0.05$.

PC: posición de compresión; MF: madurez de frutos; FV: fuente de variación; GL: grados de libertad; CM: cuadrados medios; P>F: probabilidad de F calculada; CV.: coeficiente de variación.

CUADRO 2. Cuadrados medios y significancia de las variables tiempo y rango de relajación del esfuerzo en frutos de papaya 'Maradol Roja'.

FV	GL	Tiempo de Relajación del Esfuerzo		Intervalo de Relajación del Esfuerzo	
		CM	P>F	CM	P>F
PC	2	107096	0.020 *	0.0084	0.065 ^{NS}
MF	2	1083175	0.000 *	0.0727	0.000 *
PC X MF	4	16222	0.579 ^{NS}	0.0041	0.228 ^{NS}
Error	18	21905		0.0026	
Total	26				
CV (%)		35		15.2	

NS,*; no significativo y significativo a una $P \leq 0.05$.

PC: posición de compresión; MF: madurez de frutos; FV: fuente de variación; GL: grados de libertad; CM: cuadrados medios; P>F: probabilidad de F calculada; CV.: coeficiente de variación.

CUADRO 3. Cuadrados medios y significancia de las variables porcentaje de relajación de la deformación a 10 segundos y una hora en frutos de papaya 'Maradol Roja'.

FV	GL	Relajación de la Deformación (%)			
		a 10 s		a 1 h	
		CM	P>F	CM	P>F
PC	2	75.33	0.001 *	151.54	0.069 ^{NS}
MF	2	385.17	0.000 *	223860	0.000 *
PC X MF	4	21.25	0.046 *	76.32	0.174 ^{NS}
Error	18	7.07		42.65	
Total	26				
CV (%)		32.5		45.6	

NS,*; no significativo y significativo a una $P \leq 0.05$.

PC: posición de compresión; MF: madurez de frutos; FV: fuente de variación; GL: grados de libertad; CM: cuadrados medios; P>F: probabilidad de F calculada; CV.: coeficiente de variación.

CUADRO 4. Cuadrados medios y significancia de las variables porcentaje de relajación de la deformación a 12 y 24 horas en frutos de papaya 'Maradol Roja'.

FV	GL	Relajación de la Deformación (%)			
		a 12 h		a 24 h	
		CM	P>F	CM	P>F
PC	2	174.7	0.069 ^{NS}	181.53	0.065 ^{NS}
MF	2	1941.8	0.000 *	1783.25	0.000 *
PC X MF	4	79.4	0.243 ^{NS}	80.65	0.240 ^{NS}
Error	18	52.9		53.38	
Total	26				
CV (%)		46.8		44.8	

NS,*; no significativo y significativo a una $P \leq 0.05$.

PC: posición de compresión; MF: madurez de frutos; FV: fuente de variación; GL: grados de libertad; CM: cuadrados medios; P>F: probabilidad de F calculada; CV.: coeficiente de variación.

En ese sentido, la variable tiempo de relajación del esfuerzo indicó que los frutos en M1 tardaron casi el doble de tiempo en alcanzar el 36.8 % de relajación con relación a los frutos en M2 y casi 20 veces más con relación a los frutos en M3, que de acuerdo con Mohsenin (1970) implicaría que los frutos en M1 tendrían mayor resistencia a la fuerza de compresión con relación a los frutos en M2 y M3 (Cuadro 5).

CUADRO 5. Porcentaje de relajación a 1 y 60 segundos y, tiempo e intervalo de relajación del esfuerzo en el factor madurez de frutos de papaya 'Maradol Roja'.

Estado de madurez	Tiempo de relajación del esfuerzo (s)	Intervalo de relajación del esfuerzo (0-1)	Relajación de Esfuerzo (%)	
			1 segundo	60 segundos
M1, Croma 16.1	690 a ^z	0.27 c	8.2 b	26.8 b
M2, Croma 22.0	373 b	0.31 b	9.5 ab	30.6 b
M3, Croma 27.7	36 c	0.43 a	12 a	44.1 a
Media	366.3	0.33	9.9	33.8
DMS	146.6	0.05	2.5	7.4

^aValores con la misma letra dentro de columnas son iguales, de acuerdo a prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

M: madurez; DMS: diferencia mínima significativa.

Esta tendencia fue similar en el intervalo de relajación del esfuerzo, en la cual los frutos en M1 presentaron el valor más bajo, lo que de acuerdo con Peleg (1979) implica que éstos tendrían un comportamiento más cercano al tipo sólido con respecto a los frutos en M2 y M3; es decir, que los frutos menos maduros tendrían más posibilidades de resistir la acción de fuerzas sin sufrir deformación y daño. Las variables porcentaje de relajación del esfuerzo a uno y 60 segundos (Cuadro 5), así como el porcentaje de relajación de la deformación a los 10 segundos y 1, 12 y 24 horas (Cuadro 6), presentaron valores más bajos de relajación para los frutos en M1 y M2, siendo estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes con relación a los frutos en M3.

De acuerdo con Stanley y Emmons (1977), esos valores confirman la mayor resistencia a la compresión para los frutos en M1 y M2, con relación a los frutos en M3. Para explicar las diferencias de relajación por efecto de la madurez, Ilker y Szczesniak (1990) señalaron que durante la madurez fisiológica de los frutos, la pectina de la pared celular primaria y lámina media es insoluble en agua, y está muy ligada a la celulosa y hemicelulosa, dando dureza y cohesión a las células, sin embargo, en la medida que maduran los frutos, la pectina sufre cambios como aumento de su solubilidad, que ocasionan desprendimiento de moléculas de pectina y hemicelulosa, lo que a su vez provoca ablandamiento de los tejidos.

CUADRO 6. Porcentaje de relajación de la deformación a 10 segundos, 1, 12 y 24 horas en el factor madurez de fruto de papaya 'Maradol Roja'

Estado de Madurez	Relajación de la Deformación (%)			
	a 10 s	a 1 h	a 12 h	a 24 h
M1, Croma 16.1	4.3 b ^z	5.0 b	7.8 b	8.4 b
M2, Croma 22.0	5.7 b	6.1 b	7.5 b	9.4 b
M3, Croma 27.7	15.6 a	^y 33.2 a	^y 39.0 a	^y 39.0 a
Media	8.5	14.7	18.1	18.9
DMS	2.6	9.4	7.2	7.2

^zValores con la misma letra en sentido vertical son iguales, según prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.
^yRuptura del fruto.

M: madurez; DMS: diferencia mínima significativa.

Al analizar la respuesta a la relajación del esfuerzo de pulpa de banana durante la maduración, Kojima *et al.* (1994) encontraron una disminución del tiempo de relajación al avanzar la madurez del tejido, atribuyendo ese cambio a la pérdida de elasticidad y viscosidad de la pulpa, como consecuencia de la reducción de pectina y hemicelulosa.

Diversos autores atribuyen la degradación de la pectina y hemicelulosa al aumento de la actividad de poligalacturonasa, xilanasas, pectimetilsterasa y β -galactosidasa, que se presenta cuando los frutos tienen entre 30 y 60 % de color amarillo (Paull *et al.*, 1999). Con base en lo anterior, se podría señalar que los frutos en M1 y M2 evaluados en el presente trabajo, cuyo color amarillo era igual o menor a 40 %, fueron más resistentes a la compresión, con relación a los frutos en M3, porque todavía no presentaban los efectos de la degradación de la pectina y hemicelulosa de la pared celular y lámina media, registrando más dureza y cohesión celular, mientras que los frutos en M3, cuyo color amarillo oscilaba entre 80 y 100 %, registraron poca resistencia a la compresión evidenciando que la pared celular y la lámina media se habían debilitado, favoreciendo la ruptura y la relajación celular.

Por otra parte, el factor posición de compresión registró significancia (5 %) en el tiempo de relajación del esfuerzo y porcentaje de relajación de la deformación a los

10 segundos (Cuadros 2 y 3). Esta última variable también presentó significancia (5 %) en la interacción posición de compresión por estado de madurez, lo cual indicó que la respuesta de los frutos fue diferente con la posición de compresión utilizada. Es importante señalar que las variables tiempo de relajación y porcentaje de relajación a los 10 segundos demostraron menores índices de relajación en los frutos sujetos a compresión en posición horizontal (Cuadro 7); esto implica que los frutos en posición horizontal tendrían mayor resistencia a la compresión, lo cual permite tener un criterio para colocar y estibar los frutos en los sistemas de empaque y contenedores.

CUADRO 7. Tiempo de relajación del esfuerzo y relajación de la deformación a 10 segundos en frutos de papaya 'Maradol Roja' en el factor posición de compresión.

Posición de Compresión	Tiempo de Relajación del Esfuerzo (segundos)	Relajación de la Deformación a 10 Segundos (%)
Horizontal	502 a ^z	8.1 b
Vertical	310 b	6.3 b
Inclinada	287 b	11.2 a
Media	366.6	8.5
DMS	146.6	3.1

^zValores con la misma letra dentro de columnas son iguales, de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

DMS: diferencia mínima significativa.

CONCLUSIONES

Los frutos en M1 y M2 obtuvieron indicadores más bajos de relajación con relación a los frutos en M3, lo cual significó que los frutos en M1 y M2 presentaron un comportamiento mecánico más cercano al tipo sólido, con relación a los frutos en M3; esto implicaría que los frutos más maduros tendrían menor resistencia a los daños por compresión. Con base en este criterio se sugiere cosechar los frutos desde que el exocarpio cambia de una tonalidad verde oscuro a verde claro y hasta que adquiere un 40 % de coloración amarillo-anaranjado.

Se observó menor relajación en los frutos sujetos a compresión en posición horizontal, lo que significó mayor resistencia mecánica; esto permite tener un criterio para colocar y estibar los frutos en los sistemas de empaque y contenedores.

LITERATURA CITADA

- ANZALDUA-MORALES, A. 1994. La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la Teoría y la Práctica. Ed. Acribia. D. F., México. 198 p.
- ASERCA. 1999. La papaya, un Mercado en expansión. Claridades Agropecuarias 67: 3-24.
- CHANG, C. S.; MARTIN, C. R. 1983. Rheological properties of grain dust. Transaction of the ASAE 26(6): 1249-1256.

- ILKER, R.; SZCZESNIAK, A. S. 1990. Structural and chemical bases for texture of plants foodstuffs. *Journal of Texture Studies* 21: 1-36.
- KOJIMA, K.; SAKURAI, N.; KURAISHI, S. 1994. Fruit softening in banana: correlation among stress-relaxation parameters, cell wall components and starch during ripening. *Physiologia Plantarum* 90: 772-778.
- THOMPSON, J. F.; MITCHELL, F. G. 1985. Packages for horticultural crops, pp. 85-96. *In: Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Kader, A. A.; Kasmire, R. F.; Mitchell, F. G.; Reid, M. S.; Sommer, F. N. and Thompson, J. F. (eds.) University of California Davis, Davis, USA.
- MOHSENIN, N. N. 1970. Physical properties of plant and animal materials. Vol. I. Structure, Physical Characteristics and Mechanical Properties. Gordon and Breach Science Publishers. New York, USA. 721 p.
- MOHSENIN, N. N. 1972. Mechanical properties of fruits and vegetables. Review of a decade of research applications and future needs. *Transaction of the ASAE* 10: 1064-1070.
- PAULL, R. E.; NISHIJIMA, W.; REYES, M.; CAVALETTO, C. 1997. Postharvest handling and losses during marketing of papaya (*Carica papaya* L.). *Postharvest Biology and Technology* 11: 165-179.
- PAULL, R. E.; GROSS, K.; QIU, Y. 1999. Changes in papaya cell wall during ripening. *Postharvest Biology and Technology* 16: 79-89.
- PELEG, M.; CALZADA, J. F. 1976. Stress relaxation of deformed fruits and vegetables. *Journal of Food Science* 41: 1325-1329.
- PELEG, M. 1979. Characterization of the stress relaxation curves of solid foods. *Journal of Food Science* 44: 277-281.
- STANLEY, D. W.; EMMONS, D. B. 1977. Cheddar cheese made with bovine pepsine.2. Texture-microstructure relationships. *J. Inst. Can. Sci. Tech. Aliment.* 10: 78-79.