

(S2-P37)

ESTUDIO DEL EFECTO DE LA MADURACIÓN ACELERADA Y LA REFRIGERACIÓN SOBRE LA FISIOLÓGÍA DE LA PAPAYA MARADOL (*Carica papaya* L)

JAVIER DE LA CRUZ MEDINA, PATRICIO RAMÍREZ GARCÍA y HUGO S. GARCIA

Instituto Tecnológico de Veracruz (UNIDA). Veracruz, Ver. México.
javierdelacruzmedina@yahoo.com.mx

Palabras clave: papaya maradol – refrigeración – maduración

RESUMEN

El término *Daño por frío* (DF) se ha empleado para describir el daño fisiológico que muchas plantas y sus frutos sufren como consecuencia del almacenamiento de las mismas a temperaturas bajas pero no de congelación. El DF es una preocupación para horticultores, industriales y científicos, debido a que los síntomas con los que se manifiesta afectan la calidad del producto hasta el punto en que no es comercializable. El presente estudio se realizó con el objetivo de determinar el tiempo máximo de vida útil de la papaya maradol fresca (*Carica papaya* L.) con y sin maduración acelerada utilizando etileno (500 μ L/L/24 horas, 25°C) y bajo almacenamiento refrigerado empleando un pre-acondicionamiento del fruto (0, 24, 48, 72, 96, 120, y 144 horas de maduración previo a la refrigeración).

Los frutos con tratamiento de etileno con 24 horas de maduración a 25°C, previo a ser refrigeradas a 12°C, fueron almacenados hasta por 17 días a dicha temperatura, sin que se presentara alguna alteración en las variables analizadas (firmeza de cáscara y pulpa, sólidos solubles, pH, acidez titulable y los síntomas del DF), siendo este el mejor de los tratamientos, con la ventaja de tener una maduración rápida y homogénea.

Los frutos con tratamiento de etileno con 48 y más horas de maduración a 25°C, previo a ser refrigeradas a 12°C, presentan en menor tiempo, alteraciones como ablandamiento anormal, oscurecimiento en cáscara y pulpa (DF). No se encontraron diferencias en base a % de acidez titulable, pH y sólidos solubles entre los 2 tratamientos (con y sin aplicación de etileno) almacenados a las 24 horas o más a 12°C.

En conclusión, la aplicación del etileno resulta benéfico al lograr una maduración homogénea, atractiva para el consumidor, sin que la refrigeración constituya un elemento negativo ya que se logra mayor vida de anaquel y mejor cobertura de comercialización.

INTRODUCCION

La papaya (*Carica papaya* L.), planta originaria de América tropical, es popular en el subtropico por su cultivo fácil, crecimiento rápido, y recuperación económica, y adaptación fácil a los diversos suelos y climas (Harkness, 1967; Seelig, 1970). Las papayas son cosechadas principalmente entre el rompimiento de color a 1/4 de amarillas para exportación, o entre 1/2 a 3/4 de amarillas para el mercado local. Los cambios son en el color en la pulpa de verde a amarillo o a rojo (dependiendo de la variedad así como de la madurez del fruto). En México se cultivan alrededor de 26 mil ha anuales de papaya, con una producción media de 955 mil ton., destinadas al mercado nacional (90%) y al de exportación (10%). Esta fruta se caracteriza por ser de tipo climatérico (incrementa la producción de etileno y la tasa respiratoria al llegar a la madurez fisiológica), con un gran contenido de agua y con una piel

muy delgada y sensible a los daños mecánicos y por hongos, que la hacen altamente perecedera en poscosecha. La papaya (*Carica papaya L.*) es económicamente la fruta más importante en la familia de Caricaceae. Uno de los principales problemas en manejo postcosecha de fruta de papaya es el control de su maduración y el almacenamiento refrigerado. En México se ha realizado muy poca investigación acerca del manejo postcosecha en papaya, en especial del cultivar Maradol, que por sus características de sabor, apariencia, textura y lenta maduración, se ha convertido en el preferido de los consumidores, comerciantes y productores. Los productores requieren conocer las condiciones óptimas de refrigeración (temperatura y tiempo) para colocar su producto en el mercado de forma directa y lista para consumo, lo que les reportaría mayor beneficio económico. La maduración acelerada de frutos tropicales mediante la aplicación de etileno exógeno es una práctica cada día más utilizada, donde se aprovecha las características de los frutos climatéricos para alcanzar una maduración rápida y mayor disposición de frutos maduros, disminuyendo con esto los costos por manipulación y almacenamiento, promoviendo una maduración más homogénea bajo condiciones ya determinadas para papaya Maradol (500 µl/L durante 24 horas) (Vela, 2002).

A un cierto nivel, las bajas temperaturas son consideradas el método más eficaz para mantener la calidad de varios productos. El efecto de la temperatura está estrechamente relacionado con la disminución de la respiración, la producción de etileno y en general con el metabolismo de la fruta (Hardenburg et al., 1986). Sin embargo, para varios productos tropicales y subtropicales, las bajas temperaturas pueden ser perjudiciales. El desorden fisiológico asociado con las bajas temperaturas, pero no temperaturas de congelación son comúnmente conocidas como daño por frío (DF) (Ait-Oubahou, 2000). Bajo temperaturas de refrigeración inadecuadas, los frutos pueden sufrir daño por frío (DF) ocasionando el rompimiento de los tejidos, ennegrecimiento y sabores desagradables al retornar a temperaturas más altas, por lo que el producto generalmente no es atractivo al consumidor. La mayoría de los frutos tropicales experimentan DF a temperaturas entre 5 y 14°C, como es el caso de la papaya. La disminución de los síntomas del daño por frío está relacionada con la maduración postcosecha del fruto antes de ser refrigerado (Chan-Jr., 1988). El inadecuado uso de la refrigeración después de la cosecha puede reducir la vida de anaquel y la calidad del fruto. El control de la temperatura y la humedad relativa son factores principales a controlar para prolongar de manera efectiva la vida de anaquel y mantener la calidad del fruto. Se ha reportado que el fruto de papaya es susceptible al daño por frío, la expresión de los síntomas depende principalmente de la temperatura y tiempo de refrigeración.

El daño por frío es la causa más conocida de desordenes postcosecha en papaya Maradol. Esto ocurre durante el transporte de la fruta desde los sitios de cosecha calurosos, hacia los mercados de consumo. Poco se ha publicado, sobre la respuesta fisiológica de esta variedad ante el daño por frío. Los efectos causados por el daño por frío sobre la fisiología de la papaya Maradol merman su calidad y limitan su comercialización. Es sabido que el grado de madurez de la papaya ha mostrado tener un efecto positivo al disminuir los síntomas de daño por frío al ser refrigerada; sin embargo, existe escasa información técnica que sustente el empleo adecuado de la temperatura y tiempo de almacenamiento refrigerado. El uso de un pre-acondicionamiento y el grado de madurez postcosecha de la papaya disminuyen la sensibilidad al DF en papayas variedad Kapoho y Sunrise para frutos con 60% de madurez (12.5°C por 4 días) se logra almacenar a 2°C por 12-14 días (Chen et al., 1986).

Debido a la escasa información sobre tiempo de almacenamiento refrigerado y calidad de la fruta a estas condiciones, es difícil desarrollar un almacenamiento para mantener la calidad de la fruta para mercados en fresco y procesado (Archbold, 2001).

La fisiología climatérica de la papaya incluye un problema adicional, debido a su corto ciclo de maduración disminuyendo la vida de anaquel del producto en fresco. Las tecnologías

existentes para disminuir este problema son: el uso de la refrigeración, tratamientos sobre la cáscara, e irradiación. Recientemente, se han emprendido estudios sobre almacenamiento en atmósferas modificadas (AM) y atmósferas controladas (AC) con el fin de alargar o disminuir la vida de anaquel del producto, al disminuir o acelerar la velocidad de respiración de frutas y verduras; pero la mayoría de estos estudios se han realizado en productos minimamente procesados. Por todo lo anterior el objetivo de este trabajo fue de determinar el tiempo máximo de vida útil de la papaya Maradol (*Carica papaya L.*) con maduración acelerada con etileno y bajo almacenamiento refrigerado, empleando un pre-acondicionamiento del fruto previo a la refrigeración.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los frutos de papaya fueron cosechados en los Huertos Casas ubicados en el municipio de Cardel, Veracruz, México. Después del corte estos se llevaron al laboratorio de Manejo Postcosecha de la Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos del Instituto Tecnológico de Veracruz, México. Los frutos fueron rigurosamente seleccionados en base a su color, tamaño, forma y peso. Todos aquellos que mostraran evidencias de daños físicos y/o infestación fueron eliminados. A la fruta se le aplicó un tratamiento hidrotérmico, en agua caliente (49°C, 20 minutos) para controlar las enfermedades postcosecha (Glazener et al., 1984). Las frutas seleccionadas presentaron un cuarto de color amarillo aproximadamente, firmes al tacto y con un rango de peso entre 700 y 1200 g. Las papayas fueron divididas en dos lotes: uno se le aplicó un tratamiento hidrotérmico y se maduró con etileno (500 µl/L durante 24 horas) utilizando cámaras experimentales previamente construidas a base de fibra de vidrio y acrílico con capacidad de 60 kg de fruto, acondicionadas con contenedores de acero inoxidable, homogeneizador de atmósferas (ventilador), conexiones para entrada y salida de gases y septum para muestreo de la atmósfera interior de la cámara, mientras que el segundo lote sólo se sometió a tratamiento hidrotérmico. Ambos lotes fueron divididos en 6 lotes iguales, colocados a madurar por 0, 24, 48, 72, 96, 120 o 144 horas a la temperatura de 25°C, antes de ser refrigerados, con el fin de almacenar bajo refrigeración frutos con diferente grado de madurez. Después la fruta se almacenó a 6°C, 12°C, o 25°C.

Análisis: Firmeza de Textura se analizó la firmeza sobre la epidermis de los frutos, la medición se realizó en tres diferentes partes del fruto donde se aplicó una fuerza de compresión con una punta cónica de 6 mm de diámetro, utilizando un penetrómetro de frutos, con capacidad de lectura de 0-10 kgf (Wagner FDK 20; Norfolk, Va). El valor fue expresado como la fuerza requerida para que la punta cónica del penetrómetro se introduzca en la pulpa sobre la unidad de área que ocupa la punta (NOM, 1982).

El **contenido de Sólidos Solubles Totales (SST)**, se determinó la cantidad de sólidos solubles del jugo extraído de la pulpa de los frutos mediante un refractómetro ABBE digital (LEICA MARK II) a 20°C. Los resultados obtenidos se reportaron como (%) de sólidos solubles (AOAC, 1990).

Los valores de **pH** se obtuvieron por medición directa, empleando un potenciómetro ORION modelo (520A) equipado con un electrodo de combinación de vidrio. El contenido de **Acidez Titulable** se determinó como % de ácido cítrico por gramo de jugo de pulpa de los frutos. Se realizó por titulación con NaOH 0.1 N de acuerdo al método establecido por la AOAC en 1990.

Se determinó el **Color (Hue) de la Cáscara y Pulpa** de los frutos utilizando un espectrofotómetro MiniScan Hunter Lab.,

El Daño por Frío (DF) fue evaluado de forma visual sobre los frutos previamente refrigerados.

La **Velocidad de Producción de Etileno (VPE)** fue determinada colocando las frutas en recipientes pequeños de PVC sellados herméticamente, durante 5 horas. El gas producido por la respiración fue extraído con una jeringa para cromatografía de gases a través del septum de hule, utilizando 1 mL de espacio de cabeza con el gas contenido en la cámara. La cuantificación se realizó en un cromatógrafo de gases HP 5890 series II con una columna Poraplot Q de 12 m de longitud, por 0.30 mm de diámetro, bajo condiciones de 150°C en el inyector, 80°C en el horno, 250°C en el Detector de Ionización de Flama (FID) y utilizando N₂ como gas acarreador a un flujo de 2 mL/min en la columna. Después de este tiempo se tomó una de 1 mL de espacio de cabeza y se inyectó a un cromatógrafo de gas bajo las siguientes condiciones: Detector de Ionización de Flama (FID) a 250°C, horno a 80°C, usando nitrógeno como gas acarreador.

RESULTADOS Y DISCUSION

El efecto de la maduración acelerada, y el pretratamiento de madurar 24, 48 o 72 h, previo a la refrigeración sobre el color de la pulpa de papaya Maradol fue medida mediante el ángulo de color Hue (h°). En la figura 1, se muestran los ángulos de color h° para papayas almacenadas a 6°C, siendo estos pretratamientos y esta temperatura los que arrojaron mejores resultados. De todos los tratamientos los que tuvieron valores mas bajos fueron para lo que tuvieron maduración acelerada con etileno y madurados 24 a 72 horas a 25°C, previo a ser refrigeradas. Estos tratamiento presentaron una disminución en sus valor de ángulo hue durante los primeros 8 días, no se observó diferencia significativa durante este periodo entre todos los tratamientos, mostrando valores más bajo entre los días 8 y 16. Esto es debido a que el etileno promueve la degradación de la clorofila y la síntesis de carotenoides.

La firmeza de los frutos disminuye por acción del tratamiento con etileno. Los resultados encontrados sobre la firmeza de pulpa en los frutos de papaya se muestran en la figura 2, donde se observan el comportamiento de los mejores tratamientos. Durante los tres primeros días de maduración a 25°C y de almacenamiento a 6°C, todos los tratamientos mostraron un decremento rápido en los valores de firmeza. El ablandamiento del mesocarpio y endocarpio es probablemente debido a la actividad de las enzimas degradativas de la pared celular, no a la degradación del almidón, debido a que el fruto no sintetiza almidón durante la ontogenia (Paull y Chen, 1983). Existe variación entre los cultivares de papaya en la velocidad de ablandamiento y en particular la velocidad en la que la pulpa pierde toda su textura y se vuelve turgente (Paull y Chen, 1983). La pectinmetileterasa (PME) tiene poco efecto sobre el ablandamiento de la pared celular, la cual sirve sólo para causar desmetilación parcial que permite la actividad de la poligalacturonasa (PG). Esta desesterificación ocurre con la pérdida de galactosa y de arabinosa de ramificaciones de pectinas durante la maduración de frutos. La disminución de la firmeza como consecuencia del proceso normal de maduración es un fenómeno complejo e implica diferentes mecanismos. Existe una pérdida de turgencia celular que involucra la reducción del tamaño en las cadenas de polímeros que integran la pared celular (pectinas, celulosa y hemicelulosa), por acción de la celulasa, pectinasa y otras hidrolasas que contribuyen al ablandamiento asociado a la maduración. Este fenómeno es frecuentemente acelerado por la presencia de etileno exógeno (Marangoni, 1995). Pantástico (1979) reporta que el aumento en la actividad de las enzimas pécticas en los frutos es la causa primaria del ablandamiento de su pulpa. Las sustancias pécticas son depositadas principalmente en la pared celular y en la laminilla media, actuando como materiales aglutinantes, a medida que el fruto madura disminuye el contenido de sustancias pécticas. La calidad de los frutos de papaya para el mercado procesado y en fresco es frecuentemente determinado por la firmeza del fruto (Chan-Jr *et al.*, 1981).

La firmeza de pulpa en las frutas con maduración acelerada con etileno y maduras de 24 hasta 72 horas a 25°C, previo a ser refrigeradas mostraron menor firmeza en los primeros 16 días de almacenamiento a 6°C ($P \leq 0.05$). En los últimos análisis los valores de firmeza no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, este mismo efecto se observó en las frutas almacenadas a 12°C.

En la figura 3 se presenta el contenido de sólidos solubles medidos durante el almacenamiento refrigerado a 6°C para los frutos con pretratamiento de maduración por 24 hasta 72 horas a 25°C, previo a ser refrigerados. En ésta se puede observar un incremento gradual en el contenido de sólidos solubles, viéndose más pronunciado en los frutos con 24, 48 o 72 horas, y más estable durante los 8 hasta 16 días de almacenamiento para los tres pretratamientos, comparado al resto de los tratamientos desarrollados. Esto puede ser debido a que la presencia de etileno exógeno activó el metabolismo de conversión del almidón en azúcares, como lo reporta Kader en 1986 para frutos climatéricos. Según Chan-Jr (1979) la cantidad de azúcares que se sintetizan después de la cosecha es alrededor del 3 al 4%; este aumento marginal en el contenido de sólidos solubles es debido a que, en los frutos de papaya, el almidón que se sintetiza durante el desarrollo se convierte en azúcares simples en esta misma etapa. Este mismo autor reporta que la cantidad de sacarosa producto de la degradación del almidón durante el desarrollo del fruto es mínima y que es ésta la responsable del ligero aumento de los sólidos solubles después de la cosecha al degradarse en azúcares simples.

La fruta control (tratada con etileno y mantenida a 25°C) desarrolló pérdida de firmeza y una disminución en producción de etileno después de 72 horas de almacenamiento, mientras la fruta que no se expuso al etileno mostró un modelo similar después de 144 horas.

La fruta refrigerada a 6°C y 12°C, después de madurar por 24 y 72 horas a 25°C, respectivamente, siguen la misma tendencia después de 96 horas (4 días) y 168 horas (7 días) bajo refrigeración. El daño por frío y la VPE fueron menos pronunciados en papayas tratadas con etileno empezando a mostrar síntomas de DF, después de 288 horas (12 días) de almacenamiento a 6°C o 12°C, en frutos que fueron madurados por 24 horas a 25°C, previo a su refrigeración. (Figura 4).

Los síntomas de daño por frío son más evidentes al regresar las frutas a temperaturas de maduración más altas. Proulx. En el 2005 reportó que a temperatura de almacenamiento de 5 y 10°C, para papaya, existe un pequeño efecto en las variables de sólidos solubles, pH y acidez titulable.

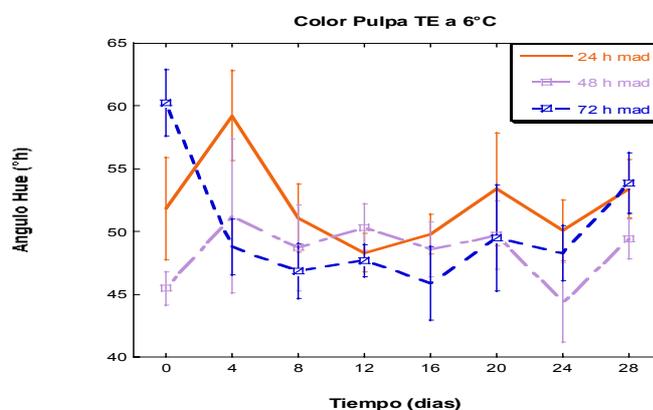


Figura 1. Efecto de la maduración acelerada con etileno y el uso de pre-tratamiento, al dejar madurar los frutos previo a ser refrigerados, sobre el ángulo de color de pulpa en papaya Maradol.

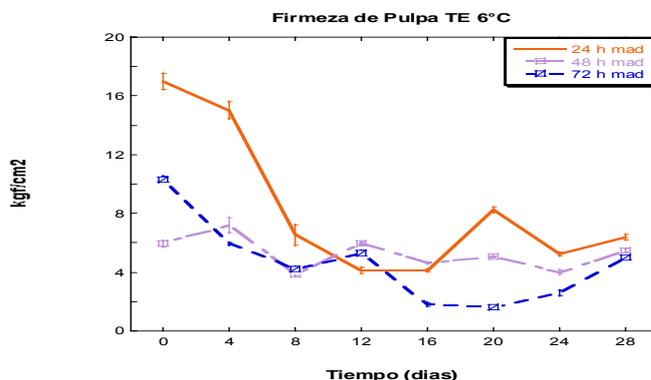


Figura 2. Efecto de la maduración acelerada con etileno y el uso de pre-tratamiento, al dejar madurar los frutos previo a ser refrigerados, sobre firmeza de pulpa en papaya Maradol.

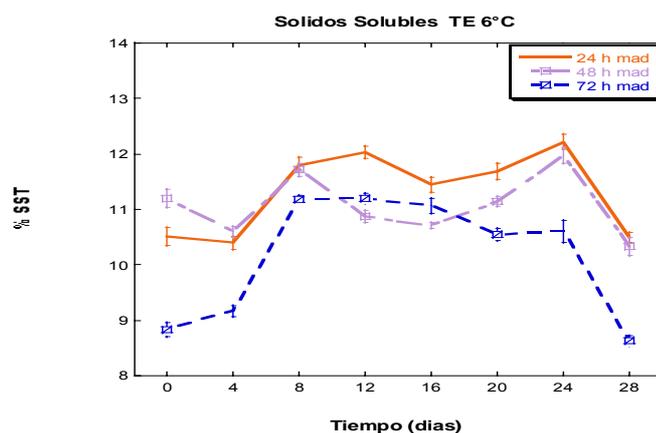


Figura 3. Efecto de la maduración acelerada con etileno y el uso de pretratamiento, al dejar madurar los frutos previo a ser refrigerados, sobre el Contenido de Sólidos Solubles en papaya Maradol.

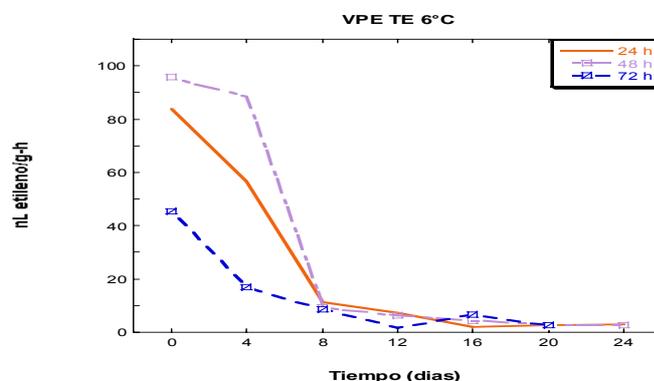


Figura 4. Efecto de la maduración acelerada con etileno y el uso de pretratamiento, al dejar madurar los frutos previo a ser refrigerados, sobre la Velocidad de Producción de Etileno en papaya Maradol.

CONCLUSIONES

La respuesta al daño por frío, de los frutos con maduración acelerada con etileno y almacenamiento refrigerado, va a depender del estado de madurez en que se encuentren antes de ser refrigerados. Los mejores resultados encontrados en este trabajo correspondieron a los pretratamientos de 24, 48 y 72 horas de maduración a 25°C, para frutos que posteriormente fueron refrigerados a 6°C, manteniendo una vida de anaquel hasta de 264 horas (11 días) bajo refrigeración, con su posterior expresión de los síntomas de daño por frío a las 48 horas a 25°C. Esto pudo observarse primero a que estos presentaron un mejor desarrollo de color (Hue) y un ablandamiento rápido de la pulpa, determinado por la firmeza del fruto y el mayor contenido de sólidos solubles.

El tratamiento hidrotérmico más maduración acelerada con etileno, para frutas preacondicionadas al dejarlas madurar por 24 hasta 72 horas a 25°C, presentan desarrollo de síntomas de daño por frío después de 288 horas refrigeradas a 6°C. Además de considerar que al aplicar el tratamiento de maduración acelerada con etileno se obtiene una maduración más homogénea.

BIBLIOGRAFÍA

- Ait-Oubahou A. 2000. Institut Agronomique et Veterinaire Hassan II, Agadir, Maroc
- Anell-Sanchez, M.G., J. De La Cruz,, M.G. Avendaño-Neva, and H.S. Garcia. 2004. Evaluation of the physiological response of Maradol papaya (*Carica papaya* L.) to ethylene and further ripening at 30°C. IFT Annual Meeting. Las Vegas Nevada, U.S.A
- A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis. 15th. Edition. Vol. II. Pag. 918. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C.
- Archbold, D. D. 2001. Grant 2001-35503-10775. University of Kentucky. Department of Horticulture.
- Chan-Jr, H.T., Tam, S.Y.T. Seo, S.T. 1981. Papaya Polygalacturonase and its Role in Thermally Injured Ripening Fruit. *J Food Sci.* 46:190-7.
- Chan-Jr. H. T. 1988. Alleviation of Chilling Injury in Papayas. *HortScience* 23(5): 868-870.
- Hardenburg, R.E. Watada and C.Y. Wang. 1986. The commercial storage of fruits vegetables and florist and nursery stocks. US. Dept. Agr., Agr. Hdbk. 66, Washington, D.C.
- Harkness, R.W. 1967. Papaya Growing In Florida. Florida Agric. Exp. Sta. Cir. S-100.
- Glazener, J.A., H.M. Couey and A. Alarez. 1984. Effect of postharvest treatments on Stemphyllium rot of papaya. *Plant Dis.* 68:986-988.
- Marangoni, A. G., Jackman, R. L. y Stanley, D. W. 1995. Chilling-associated softening of tomato fruit is related to increased pectinmethylesterase activity. *J. Food Sci.* 60(6): 1277-1281.
- NOM, 1982. Norma Oficial Mexicana (NOM-FF-014-1982). Productos alimenticios no industrializados para consumo humano (fruta fresca). Determinación de la resistencia a la penetración. Publicada en el Diario Oficial el 10 de Junio de 1982.
- Pantastico, E. B. 1979. Fisiología, postrecolección, manejo y utilización de hortalizas y frutos tropicales y subtropicales. 2ª. ed. Ed. Continental. México D. F. pag: 29-50.
- Paull, R. E. y Chen N. J. 1983. Postharvest variation in Cell Wall-Degrading enzymes of papaya (*Carica papaya* L.) during fruit ripening. *Plant Physiol.* 72: 382-385.
- Proulx E. 2005. Dept. Sols Genie Agroalimentaire, Universit e Laval, Quebec, Canada, M.C.N. Nunes, Food Sci. Human Nutr. Dept., UF, J.P. Emond, Agric. Biol. Eng. Dept., UF and J.K. Brecht, Hort. Sci. Dept., UF.

- Salveit, M. E. y Yang, S. F. 1987. Ethylene. In: Rivier, L. and Crozier, A. (eds). Principles and Practices of Plant Hormone Analysis. Academic Press. New York. Vol. 2. Chapter 6, 367-401.
- Seelig, R.A. 1970. Papaya—Fruit and vegetable facts and pointers. United Fresh Fruit and Vegetable Association, Washington, DC., p. 7.
- Vela Gutiérrez, G. 2002. Maduración acelerada de papaya Maradol (*Carica papaya L.*) en atmósferas modificadas con etileno. MSc Thesis. Instituto Tecnológico de Veracruz.