

ALMACENAMIENTO REFRIGERADO Y APLICACIONES DE 1-METILCICLOPROPENO (1-MCP) EN FRUTOS DE CHICOZAPOTE (*Manilkara sapota* (L.) P. Royen)

COLD STORAGE AND 1-METHYLCYCLOPROPENE (1-MCP) APPLICATIONS ON SAPODILLA FRUITS (*Manilkara sapota* (L.) P. Royen)

Lourdes Arévalo-Galarza¹, Benjamín Bautista-Reyes¹, Crescenciano Saucedo-Veloz¹ y Teresa Martínez-Damían²

¹Fruticultura. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. (larevalo@colpos.mx). ²Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Chapingo, Estado de México.

RESUMEN

El chicozapote (*Manilkara sapota* (L.) P. Royen) es un fruto exótico con amplio potencial comercial, sin embargo es altamente perecedero, por lo cual un incremento en su vida de anaquel contribuiría a promover su comercialización. El 1-metilciclopropeno (1-MCP) es un producto que ha sido efectivo para prolongar la vida de almacenamiento en diversos frutos debido a que inhibe la acción del etileno ocupando los sitios receptores de esta hormona. Por ello la presente investigación tuvo como objetivo evaluar los cambios en la calidad de frutos de chicozapote tratados con 1-MCP (100 y 300 nL L⁻¹) y almacenados a 14 °C por tres periodos de almacenamiento (10, 20 y 30 d). Los resultados mostraron la efectividad del 1-MCP en retrasar significativamente ($p \leq 0.05$) el proceso de maduración del chicozapote reflejado principalmente en mayor vida de almacenamiento (38 d).

Palabras clave: *Manilkara sapota*, maduración, vida de anaquel.

INTRODUCCIÓN

El chicozapote (*Manilkara sapota* (L.) P. Royen), un fruto originario de Centroamérica (Popenoe, 1974), se cultiva comercialmente en Tailandia, India, EE.UU., Filipinas, México y Venezuela, donde hay variedades y tipos seleccionados (Balerdi y Crane 2000). El fruto de chicozapote es una baya con diámetro de 5-9 cm y peso entre 75 a 200 g. Cuando el fruto alcanza su madurez comestible, la pulpa es café-amarillenta, suave, de textura granulosa, jugosa y muy dulce (Popenoe, 1974; Lakshminarayana, 1980). Este fruto es altamente perecedero, ya que madura entre 3 y 7 d a 25 °C, y aunque puede almacenarse en refrigeración, es susceptible a daños por frío; la vida de almacenamiento a 15 °C es menor de dos semanas (Broughton y Wong, 1979).

ABSTRACT

Sapodilla (*Manilkara sapota* (L.) P. Royen) is an exotic fruit with high commercial potential. However, it is highly perishable, thus an increase in its shelf-life would be an important contribution for promoting its commercialization. 1-methylcyclopropene (1-MCP) is a product that has been effective for prolonging storage life in diverse fruits, due to the fact that it inhibits the action of the ethylene occupying the receptor sites of this hormone. Therefore, the objective of the present investigation was to evaluate the changes in the quality of sapodilla fruits treated with 1-MCP (100 and 300 nL L⁻¹) and stored at 14 °C for three storage periods (10, 20 and 30 d). Results showed the effectiveness of 1-MCP in significantly delaying ($p \leq 0.05$) the ripening process of sapodilla, mainly reflected in longer storage life (38 d).

Key words: *Manilkara sapota*, maturation, shelf-life.

INTRODUCTION

Sapodilla (*Manilkara sapota* (L.) P. Royen), a fruit originated in Central America (Popenoe, 1974), is commercially grown in Thailand, India, USA., The Philippines, México and Venezuela, where there are selected varieties and types (Balerdi and Crane, 2000). The fruit of sapodilla is a berry with a diameter of 5-9 cm and a weight of 75 to 200 g. When the fruit reaches edible ripeness, the pulp is yellowish brown, soft, of granular texture, juicy and very sweet (Popenoe, 1974; Lakshminarayana, 1980). This fruit is highly perishable, given that it ripens from 3 to 7 d at 25 °C, and although it can be stored under refrigeration, it is susceptible to chilling injury; the storage life at 15 °C is less than two weeks (Broughton and Wong, 1979).

The product 1-methylcyclopropene (1-MCP) blocks the ethylene receptor sites, thus preventing the physiological action of this hormone on plant tissue, retarding the process of ripening and senescence (Sisler and Serek, 1997). The effectiveness of 1-MCP has been demonstrated for retarding the ripening process

Recibido: Marzo, 2006. Aprobado: Febrero, 2007.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 41: 469-477. 2007.

El 1-metilciclopropeno (1-MCP) bloquea los sitios receptores de etileno evitando la acción fisiológica de esta hormona en el tejido vegetal, retrasando el proceso de maduración y senescencia (Sisler y Serek, 1997). Se ha demostrado la eficacia del 1-MCP para retrasar el proceso de maduración de los frutos; por ejemplo, en mango incrementa la vida de anaquel (Hofman *et al.*, 2001), en aguacate inhibe la maduración, mantiene la firmeza, reduce la acción de enzimas que degradan pared celular y retiene el color del mesocarpio (Hofman *et al.*, 2001; Pesis *et al.*, 2002; Feng *et al.*, 2000). Sin embargo, en algunos frutos la aplicación de 1-MCP aumenta el manchado de la epidermis, como en papaya (Hofman *et al.*, 2001), y la susceptibilidad a ciertas enfermedades como *Colletotrichum* spp. y *Dothiorella* spp. en frutos de aguacate (Adkins *et al.*, 2005). El 1-MCP puede aplicarse junto con un tratamiento de etileno o antes de la exposición a etileno exógeno. Según Serek *et al.* (1995), en algunos casos cuando el 1-MCP se aplica al mismo tiempo que etileno, los posibles daños causados por esta hormona se previenen, pero cuando el 1-MCP se aplica antes que el etileno los daños se evitan completamente.

Por tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar los cambios en la calidad de los frutos de chicozapote tratados con 1-MCP y almacenados a temperatura de refrigeración, como una opción para prolongar la vida de almacenamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los frutos de chicozapote utilizados en el experimento se obtuvieron de una huerta comercial ubicada en el Rancho Yachá, Municipio de Chiná, del Estado de Campeche, México, identificados como tipo Fino. Los frutos se cosecharon en julio de 2003, en madurez fisiológica, y se trasladaron al laboratorio de Fisiología Postcosecha del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México. El periodo entre la cosecha y el inicio de los experimentos fue 2 d.

El 1-metilciclopropeno (1-MCP) (SmartFresh® 14%, Rohm and Haas Co.), se aplicó por exposición durante 12 h en cámaras de acrílico en concentraciones de 100 y 300 nL L⁻¹ a 21±1 °C, ajustándose a los protocolos de la compañía. La aplicación de Ethrel se realizó después de aplicar 1-MCP como inmersión por 10 min con el producto comercial Ethrel® 1000 (mg L⁻¹) de la compañía Amchem Products Inc. Los tratamientos fueron: a) testigo; b) Ethrel®; c) 1-MCP 100 nL L⁻¹; d) 1-MCP 300 nL L⁻¹; e) 1-MCP 100 nL L⁻¹ + Ethrel®; f) 1-MCP 300 nL L⁻¹ + Ethrel®. Después de aplicar 1-MCP o Ethrel, los frutos se almacenaron a 14±1 °C durante 10, 20 y 30 d; las evaluaciones se hicieron 0, 3 y 6 d después del almacenamiento a 21±1 °C.

of fruits; for example, in mango the shelf-life is lengthened (Hofman *et al.*, 2001), in avocado, ripening is inhibited, firmness is maintained, there is a reduction in the action of enzymes that degrade the cell wall and the color of the mesocarp is retained (Hofman *et al.*, 2001; Pesis *et al.*, 2002; Feng *et al.*, 2000). However, in some fruits, the application of 1-MCP increases spotting of the epidermis, such as in papaya (Hofman *et al.*, 2001), and the susceptibility to certain diseases such as *Colletotrichum* spp. and *Dothiorella* spp. in avocado fruits (Adkins *et al.*, 2005). The 1-MCP can be applied together with a treatment of ethylene or prior to exposure of ethylene exogene. According to Serek *et al.* (1995), in some cases when 1-MCP is applied at the same time as ethylene, the possible damages caused by this hormone are prevented, but when 1-MCP is applied prior to the ethylene, damages are completely avoided.

Therefore, the objective of the present study was to determine the changes in the quality of the sapodilla fruits treated with 1-MCP and stored under refrigeration, as an option for prolonging storage life.

MATERIALS AND METHODS

The sapodilla fruits used in the experiment were obtained from a commercial grove, located in the Rancho Yachá, municipality of Chiná, of the State of Campeche, México, identified as Fino type. The fruits were harvested in July of 2003, in physiological ripeness, and were taken to the Post-harvest Physiology Laboratory of the Colegio de Postgraduados, in Montecillo, México. The period between harvest and the start of the experiment was 2 d.

The 1-methylcyclopropene (1-MCP) (SmartFresh® 14%, Rohm and Haas Co.), was applied through exposure during 12 h in acrylic chambers in concentrations of 100 and 300 nL L⁻¹ at 21±1 °C, adjusting to the protocols of the company. The application of Ethrel was carried out after applying 1-MCP as immersion for 10 min with the commercial product Ethrel® 1000 (mg L⁻¹) of Amchem Products Inc. The treatments were: a) control; b) Ethrel®; c) 1-MCP 100 nL L⁻¹; d) 1-MCP 300 nL L⁻¹; e) 1-MCP 100 nL L⁻¹ + Ethrel®; f) 1-MCP 300 nL L⁻¹ + Ethrel®. After applying 1-MCP Ethrel, the fruits were stored at 14±1 °C during 10, 20 and 30 d; the evaluations were made at 0, 3 and 6 d after storage at 21±1 °C.

Variables evaluated

Respiratory intensity and ethylene production

The concentrations of CO₂ and ethylene were determined by gas chromatography. Each experimental unit consisted of two fruits in a 2L chamber for 1 h. Then, 1 mL was taken from the head space and was injected into a Hewlett Packard gas chromatograph (model 5890 Series II) equipped with a flame ionization detector (FID) and thermal conductivity detector (TCD). As standards were used known

Variables evaluadas

Intensidad respiratoria y producción de etileno

La concentración de CO₂ y de etileno se determinó por cromatografía de gases. Cada unidad experimental consistió en dos frutos en una cámara de 2 L por 1 h. Luego se tomó 1 mL del espacio de cabeza y se inyectó en un cromatógrafo de gases Hewlett Packard (modelo 5890 Series II) equipado con un detector de ionización de flama (FID) y detector de conductividad térmica (TCD). Se usaron como estándares concentraciones conocidas de CO₂ (500 mg L⁻¹; PRAXAIR®) y etileno (10 mg L⁻¹; INFRA®). Se hicieron cuatro repeticiones por tratamiento.

Firmeza

Se determinó mediante un texturómetro Chatillon modelo FDV-30 con puntal plano de 2.2 cm², midiendo la fuerza necesaria para penetrar la pulpa. Esta variable se evaluó cada 3 d en tres frutos enteros en los cuales se eliminó 1 cm del epicarpio en lados opuestos de la parte media, realizándose dos mediciones por fruto. Los resultados se reportan en Newtons (N).

Fenoles totales

Se usó la técnica descrita por Litwack (1967). Polvo de acetona (0.1 g) correspondiente a tres frutos de cada tratamiento se mezclaron con 4 mL de solución extractora (metanol: cloroformo: agua (2:1:1)). La mezcla se centrifugó (700 \times g 15 min⁻¹) para separar las fases, al sobrenadante se le agregó 10 mL de Na₂CO₃ (10%) y la mezcla se incubó a 38 °C durante 15 min; se tomó 1 mL del sobrenadante y se adicionó 3.0 mL de H₂O y 0.5 mL del reactivo Folin y Ciocalteu. La lectura de la absorbancia de los extractos obtenidos se hizo a una longitud de onda de 660 nm tomando como referencia una curva estándar de fenol. Los datos se expresan en mg 100 g⁻¹.

Contenido de etanol

Tres repeticiones de 5 g de pulpa de chicozapote correspondientes a las muestras de cada tratamiento se colocaron en viales, se sellaron y se incubaron a 30 °C por 30 min. Se utilizó 1 mL del gas del espacio libre de los viales y se inyectó al cromatógrafo de gases Hewlett Packard (modelo 5890 Series II) según el método descrito por Davis y Chace (1969).

Pérdidas de peso

Se usaron 10 frutos pesados individualmente cada día después del almacenamiento refrigerado. Las pérdidas de peso acumuladas se midieron en porcentaje respecto al peso inicial de los frutos en cada periodo de evaluación.

concentrations of CO₂ (500 mg L⁻¹; PRAXAIR®) and ethylene (10 mg L⁻¹; INFRA®). Four replications per treatment were made.

Firmness

Firmness was determined with a Chatillon model FDV-30 with a flat pointer of 2.2 cm², measuring the force necessary to penetrate the pulp. This variable was evaluated every 3 d in three whole fruits in which 1 cm of the epicarp was eliminated in opposite sides of the middle portion, using two measurements per fruit. The results are reported in Newtons (N).

Total phenols

The technique used was that described by Litwack (1967). Acetone powder (0.1 g) corresponding to three fruits of each treatment were mixed with 4 mL of extracting solution (methanol: chloroform: water (2:1:1)). The mixture was centrifuged (700 \times g 15 min⁻¹) to separate the phases, 10 mL of Na₂CO₃ (10%) was added to the supernatant, and the mixture was incubated at 38 °C during 15 min; 1 mL of the supernatant was taken, and 3.0 mL of H₂O and 0.5 mL of the Folin and Ciocalteu reactive were added. The reading of the absorbance of the extracts obtained was made at a wave length of 660 nm, taking a standard phenol curve as reference. The data are expressed in mg 100 g⁻¹.

Ethanol content

Three replicates of 5 g of sapodilla pulp corresponding to the samples of each treatment were placed in vials, were sealed and incubated at 30 °C for 30 min. Then, 1 mL of the gas from the free space of the vials was used and injected into the Hewlett Packard gas chromatograph (model 5890 Series II) according to the method described by Davis and Chace (1969).

Weight loss

Ten individually weighed fruits were used each day after cold storage. The accumulated weight losses were measured in percentage with respect to the initial weight of the fruits in each evaluation period.

Experimental design

The data of respiration and ethylene production were graphed against sampling time, calculating the mean, standard error and variance analysis with four replicates, using the program GraphPad Prism®. The data of firmness, total phenols, ethanol content and weight losses were obtained after each period of cold storage (10, 20 and 30 d) and in each sampling period (0, 3 and 6 d). The experimental design was of complete randomized blocks, and an analysis of variance was made with the results of each variable within the same storage period. The means were compared with the Tukey test ($p \leq 0.05$) with the SAS program (1999).

Diseño experimental

Los datos de respiración y producción de etileno se graficaron *versus* tiempo de muestreo, calculando la media, error estándar y análisis de varianza con cuatro repeticiones, usando el programa GraphPad Prism®. Los datos de firmeza, fenoles totales, contenido de etanol y pérdidas de peso se obtuvieron después de cada periodo de almacenamiento refrigerado (10, 20 y 30 d) y en cada periodo de muestreo (0, 3 y 6 d). El diseño experimental fue de bloques completos al azar y se hizo un análisis de varianza de los resultados de cada variable dentro del mismo periodo de almacenamiento. Las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) con el programa SAS (1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Intensidad respiratoria

Después de 10 d de almacenamiento a 14 ± 1 °C los frutos del tratamiento testigo y aquellos tratados con Ethrel presentaron el máximo respiratorio (19.2 y 28.2 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) al segundo día de exposición a las condiciones de maduración (21 ± 1 °C), disminuyendo hasta valores menores a 10 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ al sexto día (Figura 1a) poniendo de manifiesto el comportamiento climatérico de los frutos de chicozapote. En los frutos tratados sólo con 1-MCP (100 y 300 nL L⁻¹) la intensidad respiratoria fue baja (< 15 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) los primeros 4 d a condiciones de maduración, elevándose paulatinamente hasta alrededor de 20 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ al sexto día. No se observó la curva típica climatérica (Figura 1b), lo que sugiere un efecto de retardo del proceso respiratorio por el 1-MCP, como lo reportaron Pelayo *et al.* (2003) en frutos de banana. Los frutos tratados con 1-MCP + Ethrel tuvieron un aumento continuo a partir del tercer día a 21 ± 1 °C, desde 10 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ hasta más de 20 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, 7 d después del almacenamiento refrigerado. Es importante destacar el efecto del Ethrel en acelerar la respiración de los frutos (Figura 1a).

Después de 20 d de almacenamiento la máxima intensidad respiratoria en los frutos tratados únicamente con 1-MCP ocurrió a los 4 d (38.8 mL kg⁻¹ h⁻¹) y 6 d (51.4 mL kg⁻¹ h⁻¹) en las dosis 100 y 300 nL L⁻¹, lo que sugiere un aumento en la respiración por estrés de frío después del almacenamiento a 14 ± 1 °C. Los frutos del testigo y con Ethrel sólo pudieron almacenarse durante 10 d (Figura 1b). En los frutos con 1-MCP (100 nL L⁻¹) + Ethrel hubo una disminución continua a partir del segundo día a 21 ± 1 °C (Figura 1c), pero los frutos tratados con 300 nL L⁻¹ mostraron un pico climatérico al sexto día (37.44 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹).

En frutos tratados sólo con 1-MCP, un almacenamiento de 30 d a la temperatura de refrigeración

RESULTS AND DISCUSSION

Respiratory intensity

After 10 d of storage at 14 ± 1 °C, the fruits of the control treatment and those treated with Ethrel presented the maximum respiratory intensity (19.2 and 28.2 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) on the second day of exposure to the ripening conditions (21 ± 1 °C), decreasing to values under 10 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ on the sixth day (Figure 1a), manifesting the climacteric behaviour of the sapodilla fruits. In the fruits treated only with 1-MCP (100 and 300 nL L⁻¹), respiratory intensity was low (< 15 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) the first four days at ripening conditions, gradually increasing until reaching approximately 20 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ on the sixth day. The typical climacteric curve was not observed (Figure 1b), which suggests a retardation effect of the respiratory process from the 1-MCP, as reported by Pelayo *et al.* (2003) in banana fruits. The fruits treated with 1-MCP + Ethrel had a continual increase after the third day at 21 ± 1 °C, from 10 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ to more than 20 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, 7 d after cold storage. It is important to point out the effect of Ethrel in accelerating the respiration of the fruits (Figure 1a).

After 20 d of storage, the maximum respiratory intensity in the fruits treated only with 1-MCP occurred at 4 d (38.8 mL kg⁻¹ h⁻¹) and 6 d (51.4 mL kg⁻¹ h⁻¹) in the doses 100 and 300 nL L⁻¹, which suggests an increase in respiration from cold stress after storage at 14 ± 1 °C. The fruits of the control and with Ethrel could only be stored during 10 d (Figure 1b). In the fruits with 1-MCP (100 nL L⁻¹) + Ethrel, there was a continual decrease after the second day at 21 ± 1 °C (Figure 1c), but the fruits treated with 300 nL L⁻¹ showed a climacteric peak on the sixth day (37.44 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹).

In fruits treated only with 1-MCP, a storage of 30 d at refrigeration temperature increased, as with in the 20 d period, the respiratory intensity (45 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) until the third day in the concentrations of 100 and 300 nL L⁻¹. The combination of Ethrel with 1-MCP (100 nL L⁻¹) caused a continual decrease in respiratory intensity, followed by symptoms of advanced senescence in the fruits. The dose 300 nL L⁻¹ produced a similar behaviour with the treatment without Ethrel (42 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ on the third day).

These results show that 1-MCP in sapodilla fruits tends to retard and decrease respiratory intensity for short periods (10 d) at low temperature. The prolongation of the storage period up to 20 and 30 d causes a significant increase in respiration, perhaps from the effect of cold stress, without altering the normal

aumentó, al igual que en el periodo de 20 d, la intensidad respiratoria ($45 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) hasta el tercer día en las concentraciones de 100 y 300 nL L^{-1} . La combinación de Ethrel con 1-MCP (100 nL L^{-1}) causó un descenso continuo en la intensidad respiratoria y luego los frutos presentaron síntomas de senescencia avanzada. La dosis 300 nL L^{-1} produjo un comportamiento similar al tratamiento sin Ethrel ($42 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ al tercer día).

Estos resultados muestran que el 1-MCP en frutos de chicozapote tiende a retrasar y disminuir la intensidad respiratoria por periodos cortos (10 d) a baja temperatura. La prolongación del periodo de almacenamiento hasta 20 y 30 d causa un aumento significativo de la respiración, tal vez por efecto del estrés de frío, sin alterar el proceso normal de maduración ni los síntomas visibles de daños por frío. La vida de anaquel aumenta al aplicar 1-MCP en frutos de fresa (Jiang *et al.*, 2001), banana (Jiang *et al.*, 1999), pèrsimo (Harima *et al.*, 2003) y aguacate (Jeong *et al.*, 2003). En el presente experimento no se observó un efecto benéfico en la maduración al aplicar Ethrel.

Producción de etileno

Después de 10 d de almacenamiento a $14 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ en los frutos con Ethrel se registraron $9 \mu\text{L}$ etileno $\text{kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, el cual se elevó a $14.05 \mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 1 d después de transferirlos a $21 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$. En los frutos testigo la producción de etileno fue menor a $0.35 \mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ durante el periodo de maduración (Figura 2a). Aunque la producción de etileno del tratamiento testigo fue muy inferior a los de los demás, el proceso de maduración fue normal, confirmando lo reportado por Baéz *et al.* (1997) y Broughton y Wong (1979) que señalan que aun con bajas concentraciones de etileno el fruto de chicozapote puede madurar normalmente. El tratamiento con 1-MCP (100 y 300 nL L^{-1}) causó valores menores a $0.3 \mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ hasta el cuarto y sexto día, después aumentó significativamente la producción de etileno (10.4 y $24.6 \mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$). Según Golding *et al.* (1999), el 1-MCP evita la acción de etileno y prolonga la vida de almacenamiento en los frutos, pero afecta la actividad de ACC sintasa y ACC oxidasa, enzimas clave en la biosíntesis de etileno, lo cual estimula la posterior producción de éste. En bananas tratadas con 1000 nL L^{-1} de 1-MCP, 6 d después aumentó la actividad de estas enzimas (Pelayo *et al.* 2003). Estos autores muestran que la respuesta del fruto al 1-MCP varía según el estado de madurez del fruto, y en muchas ocasiones hay inconsistencias en las variables evaluadas.

Después de 20 d de almacenamiento en los frutos tratados con 1-MCP (100 y 300 nL L^{-1}) la producción

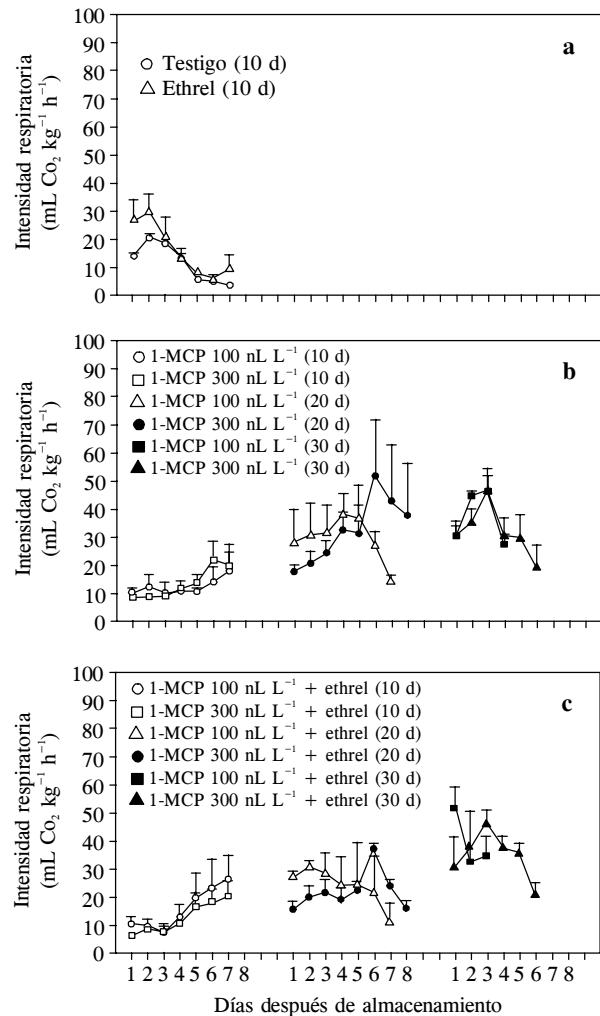


Figura 1. Intensidad respiratoria ($\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) en frutos de chicozapote después de almacenamiento refrigerado a $14 \text{ }^\circ\text{C}$ por 10, 20 y 30 d. a) frutos testigos y tratados con Ethrel (1000 mg L^{-1}); b) frutos tratados con 1-MCP (100 y 300 nL L^{-1}); c) frutos tratados con 1-MCP (100 y 300 nL L^{-1}) y Ethrel (1000 mg L^{-1}). Medias \pm error estándar para $n=4$.

Figure 1. Respiratory intensity ($\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) in sapodilla fruits after cold storage at $14 \text{ }^\circ\text{C}$ for 10, 20 and 30 d. a) Control fruits and fruits treated with Ethrel (1000 mg L^{-1}); b) fruits treated with 1-MCP (100 and 300 nL L^{-1}); c) fruits treated with 1-MCP (100 and 300 nL L^{-1}) and Ethrel (1000 mg L^{-1}). Means \pm standard error for $n=4$.

ripening process nor the visible symptoms of chilling injury. Shelf-life increases when 1-MCP is applied in fruits of strawberry (Jiang *et al.*, 2001), banana (Jiang *et al.*, 1999), persimmon (Harima *et al.*, 2003) and avocado (Jeong *et al.*, 2003). In the present experiment, a beneficial effect was not observed in ripening when Ethrel was applied.

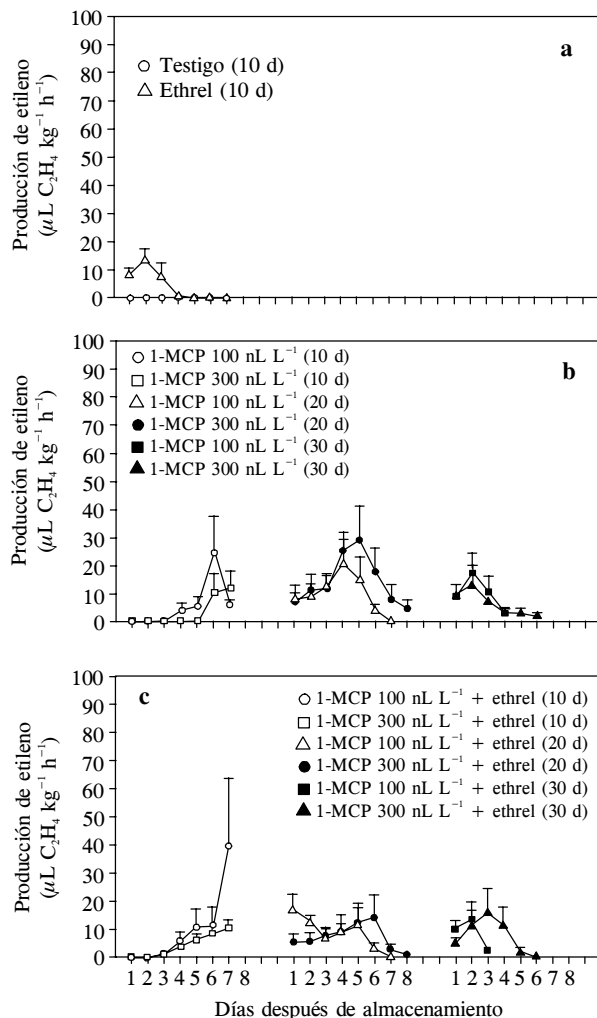


Figura 2. Producción de etileno ($\mu\text{L C}_2\text{H}_4\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$) en frutos de chicozapote después de almacenamiento refrigerado a $14\text{ }^\circ\text{C}$ por 10, 20 y 30 d. a) frutos testigos y tratados con Ethrel (1000 mg L^{-1}); b) frutos tratados con 1-MCP (100 y 300 nL L^{-1}); c) frutos tratados con 1-MCP (100 y 300 nL L^{-1}) y Ethrel (1000 mg L^{-1}). Medias \pm error estándar para $n=4$.

Figure 2. Production of ethylene ($\mu\text{L C}_2\text{H}_4\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$) in sapodilla fruits after cold storage at $14\text{ }^\circ\text{C}$ for 10, 20 and 30 d. a) control fruits and fruits treated with Ethrel (1000 mg L^{-1}); b) fruits treated with 1-MCP (100 and 300 nL L^{-1}); c) fruits treated with 1-MCP (100 and 300 nL L^{-1}) and Ethrel (1000 mg L^{-1}). Means \pm standard error for $n=4$.

de etileno aumentó hasta 20.9 y $29.2\ \mu\text{L kg}^{-1}\text{ h}^{-1}$ en los días 4 y 5, en condiciones de maduración (Figura 2b). La combinación 1-MCP y Ethrel resultó en una menor producción de etileno sugiriendo un avance en el proceso de maduración; un comportamiento similar se observó en los frutos almacenados por 30 d para los tratamientos con 1-MCP (Figura 2b) y 1-MCP + Ethrel (Figura 2c).

Ethylene production

After 10 d of storage at $14\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ in the fruits with Ethrel, $9\ \mu\text{L ethylene kg}^{-1}\text{ h}^{-1}$ were registered, which increased to $14.05\ \mu\text{L kg}^{-1}\text{ h}^{-1}$ 1 d after they were transferred to $21\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$. In the control fruits, ethylene production was less than $0.35\ \mu\text{L kg}^{-1}\text{ h}^{-1}$ during the ripening period (Figure 2a). Although ethylene production of the control treatment was much lower than those of the of the rest, the ripening process was normal, confirming what was reported by Báez *et al.* (1997) and Broughton and Wong (1979), who point out that even with low concentrations of ethylene, the sapodilla fruit can ripen normally. The treatment with 1-MCP (100 and 300 nL L^{-1}) caused values lower than $0.3\ \mu\text{L kg}^{-1}\text{ h}^{-1}$ until the fourth and sixth day, after which there was a significant increase in ethylene production (10.4 and $24.6\ \mu\text{L kg}^{-1}\text{ h}^{-1}$). According to Golding *et al.* (1999), 1-MCP prevents the action of ethylene and prolongs storage life in the fruits, but it affects the activity of ACC synthase and ACC oxidase, key enzymes in the biosynthesis of ethylene, which stimulates the later production of ethylene. In bananas treated with 1000 nL L^{-1} of 1-MCP, 6 d later, the activity of these enzymes increased (Pelayo *et al.*, 2003). These authors show that the response of the fruit to 1-MCP varies according to the stage of ripeness of the fruit, and on many occasions there are inconsistencies in the variables evaluated.

After 20 d of storage in the fruits treated with 1-MCP (100 and 300 nL L^{-1}), ethylene production increased to 20.9 and $29.2\ \mu\text{L kg}^{-1}\text{ h}^{-1}$ on days 4 and 5, under ripening conditions (Figure 2b). The combination of 1-MCP and Ethrel resulted in a lower production of ethylene, suggesting an advance in the ripening process; a similar behaviour was observed in the fruits stored for 30 d for the treatments with 1-MCP (Figure 2b) and 1-MCP + Ethrel (Figure 2c).

Firmness

The application of Ethrel accelerated the loss of firmness of the pulp when the fruits were transferred to ripening conditions after 10 d of storage at $14\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$; on the third day it was significantly lower (2.0 N) with respect to that of the control treatment (12.0 N) (Table 1). The use of Ethrel increases the activity of hydrolase enzymes, resulting in a more accelerated softening (Shanmugavelu *et al.*, 1971). With the exception of the fruits exposed for 20 d to refrigeration temperature and treated with 1-MCP 300 nL L^{-1} and Ethrel, where the firmness of the pulp was greater, for the other treatments, at 20 and 30 d of storage, the firmness was comparable to that of the control fruits stored for 10 d

Firmeza

La aplicación de Ethrel aceleró la pérdida de firmeza de la pulpa al transferir los frutos a condiciones de maduración después de 10 d de almacenamiento a 14 ± 1 °C; al tercer día ésta fue significativamente menor (2.0 N) respecto a la del tratamiento testigo (12.0 N) (Cuadro 1). El uso de Ethrel incrementa la actividad de enzimas hidrolasas, resultando en un ablandamiento más rápido (Shanmugavelu *et al.*, 1971). Con excepción de los frutos expuestos por 20 d a la temperatura de refrigeración y tratados con 1-MCP 300 nL L⁻¹ con Ethrel, donde la firmeza de la pulpa fue mayor, para los demás tratamientos, a 20 y 30 d de almacenamiento, la firmeza fue comparable a la de los frutos tratados con Ethrel almacenados por 10 d (Cuadro 1). Ésto indica que 1-MCP pudo contribuir a prolongar la vida de almacenamiento al inhibir, por cierto tiempo, la actividad de poligalacturonasa y celulasa, sin afectar el proceso de maduración normal y la firmeza, como se ha mostrado en papaya, manzana y mango (Feng *et al.*, 2000; Hofman *et al.*, 2001).

Fenoles totales

El contenido de fenoles totales al inicio del almacenamiento (77.7 mg 100 g⁻¹) disminuyó rápidamente

(Table 1). This indicates that 1-MCP could contribute to prolonging storage life as it inhibits, for a certain time, the activity of polygalacturonase and cellulase, without affecting the normal ripening process and firmness, as has been demonstrated in papaya, apple and mango (Feng *et al.*, 2000; Hofman *et al.*, 2001).

Total phenols

The content of total phenols at the start of storage (77.7 mg 100 g⁻¹) decreased rapidly in the fruits with Ethrel, compared to the control fruits after 10 d of storage plus 3 d at ripening conditions. This coincides with what was reported by Arévalo-Galarza *et al.* (1999) in fruits of Fino type sapodilla, where the treatment with Ethrel (2000 mg L⁻¹) favored the accelerated decrease of these compounds (Table 1). For the fruits treated with 1-MCP with and without Ethrel, the phenol content decreased more rapidly in the treatments with 100 nL L⁻¹ of 1-MCP with respect to those of 300 nL L⁻¹, showing a delay in the ripening process of the fruits. The prolongation of the time of storage by 20 and 30 d in the treatments with 100 nL L⁻¹ of 1-MCP with and without Ethrel, caused a similar behaviour in the decrease of the phenol content.

Cuadro 1. Respuesta de variables de calidad de frutos de chicozapote al 1-MCP (0, 100 y 300 nL L⁻¹) y Ethrel (0 y 1000 mg L⁻¹) al tercer día a 21 ± 1 °C, después de almacenamiento refrigerado a 14 °C (10, 20 y 30 d).

Table 1. Response of variables of quality of sapodilla fruits to 1-MCP (0, 100 and 300 nL L⁻¹) and Ethrel (0 and 1000 mg L⁻¹) on the third day at 21 ± 1 °C, after cold storage at 14 °C (10, 20 and 30 d).

Tratamientos			Variables			
1-MCP (nL L ⁻¹)	Ethrel	Días de almacenamiento	Firmeza (N)	Fenoles (mg 100 ⁻¹ g)	Etanol (mg 100 ⁻¹ g)	Pérdidas de peso (%)
0	0	10	12.0 a	15.9 c	10.0 bc	10.6 a
0	1000		2.0 b	1.5 d	18.0 a	9.3 a
100	0		11.9 a	10.8 c	12.0 a	10.5 a
100	1000		13.0 a	14.2 c	9.0 c	10.3 a
300	0		14.0 a	51.7 a	3.0 d	10.3 a
300	1000		13.9 a	33.7 b	5.0 d	10.3 a
0	0	20				
0	1000					
100	0		2.6 b	1.7 c	14.0 a	15.0 abc
100	1000		4.2 b	2.9 c	10.5 ab	13.7 abc
300	0		4.9 b	9.0 b	8.1 b	13.1 bc
300	1000		9.0 a	43.6 a	3.5 c	10.8 c
0	0	30				
0	1000					
100	0		1.8 a	1.7 b	25.0 a	17.6 ab
100	1000		1.6 a	1.2 b	7.2 b	
300	0		2.5 a	10.7 a	6.3 b	19.0 a
300	1000		2.9 a	4.2 b	4.0 b	14.6 bc

Medias con letras diferentes en una columna y dentro del mismo periodo de evaluación son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$).

en los frutos con Ethrel, en comparación con los frutos testigo después de 10 d de almacenamiento más 3 d a condiciones de maduración. Ésto coincide con lo reportado por Arévalo-Galarza *et al.* (1999) en frutos de chicozapote tipo Fino, donde el tratamiento con Ethrel (2000 mg L⁻¹) favoreció la disminución acelerada de estos compuestos (Cuadro 1). Para los frutos tratados con 1-MCP con y sin Ethrel, el contenido de fenoles disminuyó más rápidamente en los tratamientos con 100 nL L⁻¹ de 1-MCP respecto a los de 300 nL L⁻¹, mostrando un retraso en el proceso de maduración de los frutos. La prolongación del tiempo de almacenamiento por 20 y 30 d en los tratamientos con 100 nL L⁻¹ de 1-MCP con y sin Ethrel, causó un comportamiento similar en la disminución del contenido de fenoles.

Producción de etanol

Un proceso importante durante la maduración de chicozapote es el incremento en la biosíntesis de compuestos volátiles, que en pequeñas cantidades contribuyen a mejorar el aroma y el sabor. En los frutos de chicozapote, la concentración de etanol aumentó significativamente desde el inicio de la refrigeración (2.0 mg 100 g⁻¹) hasta la salida del primer periodo de almacenamiento (10 d) más 3 d a 21 ± 1 °C, alcanzando 10.0 y 18.0 mg 100 g⁻¹ en los frutos del tratamiento testigo y tratados con Ethrel. A seis días de almacenamiento, el contenido de etanol fue 21.2 para los frutos testigo y 100.58 mg 100 g⁻¹ para los tratados con Ethrel (1000 mg L⁻¹), lo cual muestra el estado avanzado de madurez de los frutos. Los frutos tratados con 100 nL L⁻¹ de 1-MCP con y sin Ethrel presentaron una mayor síntesis de etanol en relación con 300 nL L⁻¹. Se observó un comportamiento similar al prolongar el periodo de almacenamiento a 20 y 30 d (Cuadro 1). Estos resultados muestran que los frutos tratados con 300 nL L⁻¹ estaban en un estado de madurez menos avanzado que aquellos con 100 nL L⁻¹, pero es posible que la aplicación de 1-MCP disminuyera la producción de este compuesto volátil. Así, Fan y Mattheis (2001) reportaron que la aplicación de 1-MCP (500 nL L⁻¹) en frutos de manzana Gala inhibió la producción de volátiles (alcoholes y aldehídos), lo que se ha confirmado en otros frutos climatéricos (Goldin *et al.*, 1998; Toivonene, 1997).

Pérdida fisiológica de peso

No hubo (efecto de la aplicación de 1-MCP con y sin Ethrel sobre las pérdidas de peso (Cuadro 1). Porat *et al.* (1999) reportan que el uso 1-MCP en frutos de naranja no influyó en las pérdidas de peso, mientras

Ethanol production

An important process during the ripening of sapodilla is the increase in the biosynthesis of volatile compounds, which in small amounts contribute to improving the aroma and flavour. In sapodilla fruits, the concentration of ethanol increased significantly from the start of refrigeration (2.0 mg 100 g⁻¹) until the end of the first period of storage (10 d) plus 3 d at 21 ± 1 °C, reaching 10.0 and 18.0 mg 100 g⁻¹ in the fruits of the control treatment and treated with Ethrel. At six days of storage, the ethanol content was 21.2 for the control fruits and 100.58 mg 100 g⁻¹ for those treated with Ethrel (1000 mg L⁻¹), which shows the advanced stage of ripening of the fruits. The fruits treated with 100 nL L⁻¹ of 1-MCP with and without Ethrel presented a higher synthesis of ethanol with respect to 300 nL L⁻¹. A similar behaviour was observed when the storage period was prolonged to 20 and 30 d (Table 1). These results show that the fruits treated with 300 nL L⁻¹ were in a less advanced stage of ripening than those with 100 nL L⁻¹, but it is possible that the application of 1-MCP diminished the production of this volatile compound. Thus, Fan and Mattheis (2001) reported that the application of 1-MCP (500 nL L⁻¹) in fruits of Gala apple inhibited the production of volatiles (alcohols and aldehydes), which has been confirmed in other climacteric fruits (Goldin *et al.*, 1998; Toivonene, 1997).

Physiological weight loss

There was no effect of the application of 1-MCP with and without Ethrel on the weight losses (Table 1). Porat *et al.* (1999) report that the use of 1-MCP in orange fruits did not have an influence on the weight losses, whereas in the sapodilla fruits, the application of Ethrel did not change the weight loss (Pérez *et al.*, 1995). However, cold storage reduced the commercial quality of the fruits with registered losses of over 10% (Table 1).

CONCLUSIONS

The treatment with 1-MCP (100 and 300 nL L⁻¹) permitted the prolongation of storage time at 14 ± 1 °C up to 30 d, plus 6 d at ripening temperature (21 ± 1 °C), retarding the production of ethylene, the degradation of phenolic compounds and maintaining firmness. However, there inconsistencies in the behaviour of the different post-harvest variables evaluated, attributed to the stage of maturity of the fruits treated with 1-MCP. Therefore, for sapodilla fruits, an evaluation of precise harvest indices is recommended, and because this fruit

que en frutos de chicozapote la aplicación de Ethrel no cambió la pérdida de peso (Perez *et al.*, 1995). Sin embargo, el almacenamiento refrigerado redujo la calidad comercial de los frutos al registrar pérdidas superiores al 10% (Cuadro 1).

CONCLUSIONES

El tratamiento con 1-MCP (100 y 300 nL L⁻¹) permitió prolongar el tiempo de almacenamiento a 14±1 °C hasta por 30 d, más 6 d a temperatura de maduración (21±1 °C), retrasando la producción de etileno, la degradación de compuestos fenólicos y manteniendo la firmeza. Sin embargo, hay inconsistencias en el comportamiento de las diferentes variables postcosecha evaluadas, atribuidas al estado de madurez de los frutos tratados con 1-MCP. Por tanto, para frutos de chicozapote se recomienda evaluar índices de cosecha precisos y, debido a que este fruto es muy perecible, aplicar 1-MCP inmediatamente después de la cosecha.

LITERATURA CITADA

Arévalo-Galarza, L., C. Saucedo-Veloz, M. T. Colinas-León, y G. Mena-Nevares. 1999. Aplicación de ceras y cepa en frutos de chicozapote (*Manilkara zapota* L.). *Rev. Chapingo Serie Hort.* 5(2): 783-788.

Adkins, M. F., P.J. Hofman, B. A. Stubbings, A. J. Macnish. 2005. Manipulating avocado fruit ripening with 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biol. Technol.* 35: 33-42.

Baéz, M. A., J. H. Siller, B. Heredia, T. Portillo, E. Araiza, R. S. García, y M. D. Muy. 1997. Fisiología postcosecha de frutos de chicozapote (*Achras sapota* L.) durante condiciones de mercado. *Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort.* 41: 209-214.

Balardi, C. F., and J. H. Crane. 2000. The sapodilla (*Manilkara zapota* van Royen) in Florida. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida. <http://edis.ifast.ufl.edu> (Consultado en febrero, 2006).

Broughton, W. J., and H.C. Wong. 1979. Storage conditions and ripening of chiku fruits *Achras sapota* L. *Sci. Hort.* 10:377-385.

Davis, P. L., and W.R. Chace. 1969. Determination of alcohol in citrus juice by gas chromatographic analysis of head space. *HortScience* 4: 117-119.

Fan, X., and J. P. Mattheis. 2001. 1-Methylcyclopropene and storage temperature influence responses of gala apple fruit to gamma irradiation. *Postharvest Biol. Technol.* 23: 143-151.

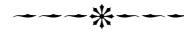
Feng, X., A. Apelbaum, E. C. Sisler, and R. Goren. 2000. Control of ethylene responses in avocado fruit with 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biol. Technol.* 20: 143-150.

Golding, J. B., D. Shearer, S.G. Wyllie, and W. B. McGlasson. 1998. Application of 1-MCP and propylene to identify ethylene-dependent ripening process in mature banana fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 14: 87-98.

Golding, J. B., D. Shearer, S. G. Wyllie, and W. B. McGlasson. 1999. Relationships between respiration, ethylene, and aroma production in ripening bananas. *J. Agric. Food Chem.* 47:1646-1651.

is highly perishable, the application of 1-MCP immediately after harvest.

—End of the English version—



Harima, S., R. S. Nakano, Y. Yamauchi, Y. Kitano, Y. A. Yamamoto, A. Inaba, and Y. Kubo. 2003. Extending shelf-life of astringent persimmon (*Diospyros kaki* Thunb) fruit by 1-MCP. *Postharvest Biol. Technol.* 29: 319-324.

Hofman, P. J., M. Jobin-Décor, G. F. Meiburg, A. J. Macnish, and D. C. Joyce. 2001. Ripening and quality responses of avocado, custard apple, mango and papaya fruit to 1-methylcyclopropene. *Aust. J. Exp. Agric.* 41: 567-572.

Jeong, J., D. J. Huber, and S.A. Sergeant. 2003. Delay of avocado (*Persea Americana* M.) fruit ripening by 1-methylcyclopropene and wax treatments. *Postharvest Biol. Technol.* 28: 247-257.

Jiang, Y., D. Joyce, and A. Macnish. 1999. Extension of the shelf-life of banana fruit by 1-Methylcyclopropene in combination with polyethylene bags. *Postharvest Biol. Technol.* 16: 187-193.

Jiang, Y., D. Joyce, and L.Terry. 2001. 1-Methylcyclopropene treatments strawberry fruit decay. *Postharvest Biol. Technol.* 23: 227-232.

Lakshminarayana, S. 1980. Sapodilla and prickly pear. *In: Nagy, S., and P.E. Shaw (eds). Tropical and Subtropical Fruits.* AVI Publishing Westport. pp: 415.

Litwack, G. 1967. *Bioquímica Experimental.* Ediciones Omega. Barcelona España. pp: 216-217.

Pelayo, C., V. B. Vilas-Boas, M. Benichou, and A. Kader. 2003. Variability in responses of partially ripe bananas to 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biol. Technol.* 28: 75-85.

Pérez, J. J., A. Sánchez, y Z. Vilorio. 1995. Efecto del ácido 2-cloroetilfosfónico sobre la respiración y características físicas en frutos de nísperos (*Manilkara sapotilla* L.) variedad Tiberio, durante la maduración. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 12: 145-149.

Pesis, E., M. Ackerman, R. Ben-Aire, O. Feygenberg, X. Feng, A. Apelbaum, R. Goren, and D. Pruski. 2002. Ethylene involvement in chilling injury symptoms of avocado during cold storage. *Postharvest Biol. Technol.* 24: 171-181.

Popenoe, W. 1974. *Manual of Tropical and Subtropical Fruits.* Hafner Press. New York. pp: 334-340.

Porat, R., B. Weiss, L. Cohen, A. Daus, R. Goren, and S. Droby. 1999. Effects of ethylene and 1-Methylcyclopropene on the postharvest qualities of "Shamouti" oranges. *Postharvest Biol. Technol.* 15: 155-163.

SAS. 1999. *SAS/STAT Guide for personal computer, ver. 8.* SAS Inst., Inc., Cary, N.C.

Serek, M., E. C. Sisler, T. Tirosh, and S. Mayak. 1995. 1-Methylcyclopropene prevents bud, flower and leaf abscission of Geraldton wax flower. *HortScience* 30: 1310.

Shanmugavelu, K., G. Srinivasan, and U.N.M. Roa. 1971. Influence of Ethrel (2-chloroethylphosphonic acid) on ripening of sapota (*Achras sapota* L.) *Hort. Adv.* 8: 33-36.

Sisler, E. C., and M. Serek. 1997. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: Recent developments. *Physiol. Plant.* 100: 577-582.

Toivonen, P. M. A. 1997. Non-ethylene, non-respiratory volatiles in harvested fruits and vegetables: their occurrence, biological activity and control. *Postharvest Biol. Technol.* 12:109-125.