

MADURACIÓN DE FRUTOS DE SARAMUYO (*Annona squamosa* L.) DESARROLLADOS EN YUCATÁN, MÉXICO

RIPENING OF SUGAR APPLE FRUITS (*Annona squamosa* L.) DEVELOPED IN YUCATÁN, MÉXICO

Nidelvia Bolívar-Fernández¹, Crescenciano Saucedo-Veloz^{2*}, Sara Solís-Pereira¹, Enrique Sauri-Duch¹

¹Instituto Tecnológico de Mérida. Km 5 Carretera Mérida-Progreso. 97118. Mérida, Yucatán. (nidelviabolivar@hotmail.com). ²Fruticultura. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. (sauveloz@colpos.mx).

RESUMEN

Se determinó el patrón de maduración y la fisiología de frutos de saramuyo, provenientes de una selección sobresaliente del Programa de Selección de germoplasma Yucatán. Frutos en fase de madurez fisiológica fueron cosechados y almacenados a 26 ± 2 °C y 60-70% de humedad relativa por 4 d, durante los cuales se realizaron medidas de respiración, etileno y deformación en fruto entero. Además, en pulpa se determinó: firmeza, sólidos solubles totales, acidez titulable, pH, contenido de antocianinas, actividad de pectinmetilesterasas (PME), poligalacturonasas (PG), polifenoloxidasas (PFO), y los parámetros de color ángulo de matiz, índice de saturación y luminosidad. Se presentó una elevada velocidad de respiración con un máximo climaterico de $243.1 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 3 d después de cosecha y una producción de etileno menor a $1.0 \mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. El intenso metabolismo se reflejó en un acelerado ablandamiento del fruto, aumento en sólidos solubles totales, % de ácido cítrico y contenido de antocianinas, así como disminución en el pH, ángulo de matiz y valor L. La actividad de PME y PG estuvo relacionada con la disminución de la firmeza y deformación del fruto; la actividad de PFO fue mayor al inicio de la fase postclimaterica. El contenido de antocianinas aumentó con la maduración y se manifestó como uno de los pigmentos involucrados con el color de la pulpa. Los frutos de saramuyo de esta selección alcanzaron su mejor calidad comestible al inicio de la fase postclimaterica, siendo su vida postcosecha a 26 ± 2 °C y 60-70 % de humedad relativa no mayor a 4 d.

Palabras clave: *Annona squamosa*, antocianinas, enzimas, etileno, firmeza, respiración.

INTRODUCCIÓN

Dentro del grupo de las anonáceas, el saramuyo (*Annona squamosa* L.) es una de las especies exóticas tropicales con alto potencial de producción y comercialización debido a la excelente

ABSTRACT

The ripening pattern and the physiology of sugar apple fruits, which came from an outstanding selection from the Germplasm Selection Program in Yucatán, were determined. Fruits in phase of physiological maturity were harvested and stored at 26 ± 2 °C and 60-70% relative humidity for 4 d, during which measurements were taken for respiration, ethylene and deformation of the whole fruit. Besides, in pulp determinations were also made for: firmness, total soluble solids, acidity available for titration, pH, anthocyanin content, activity of pectinmethylesterases (PME), polygalacturonases (PG), polyphenoloxidases (PPO), and the color parameters hue angle, saturation index and luminosity. A high respiration velocity was found with a climacteric maximum of $243.1 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, 3 d after the harvest, and an ethylene production lower than $1.0 \mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. The intense metabolism was reflected in an accelerated softening of the fruit, an increase in total soluble solids, % of citric acid and anthocyanin content, as well as a decrease in the pH, hue angle and L value. The PME and PG activity was related to a decrease in firmness and to deformation of the fruit; the PPO activity was higher at the beginning of the post-climacteric phase. The content of anthocyanins increased with ripening and was manifested as one of the pigments involved in pulp color. The sugar apple fruits in this selection reached their best edible quality at the beginning of the post-climacteric phase, with a post-harvest life at 26 ± 2 °C and 60-70 % relative humidity no longer than 4 d.

Key words: *Annona squamosa*, anthocyanins, enzymes, ethylene, firmness, respiration.

INTRODUCTION

Within the Annonaceae group, sugar apple (*Annona squamosa* L.) is one of the exotic tropical species with high production and commercialization potential, due to the excellent organoleptic, nutritional and nutraceutical quality of its fruits (Cordeiro and Pinto, 2005). In this sense, within the Annonaceae group, sugar apple fruits are the sweetest and with highest content of vitamin C (FAO,

*Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: Agosto, 2007. Aprobado: Octubre, 2008.

Publicado como ARTÍCULO en Agrociencia 43: 133-141. 2009.

calidad organoléptica, nutricional y nutracéutica de sus frutos (Cordeiro y Pinto, 2005). En este sentido, dentro del grupo de las anonáceas los frutos de saramuyo son los más dulces y con mayor contenido de vitamina C (FAO, 1990). Además, uno de sus componentes, el ácido Ent-16b,17-dihydroxykaurant-19oic, tiene actividad anti-HIV (Wu *et al.*, 1996). Esta especie es originaria de Centroamérica y las Antillas, desde donde se distribuyó a México y la América tropical (González, 1984; León, 1989). En México se encuentra en la región sureste, principalmente en los estados de Campeche, Chiapas y Yucatán con una producción de 579.5 t (SAGARPA, 2006). A diferencia de Brasil, Filipinas e India donde se encuentran plantaciones comerciales y cultivares con alta calidad de fruto (Pinto, 2005), en México es una especie subutilizada, con plantaciones a base de materiales nativos, producción en huertos familiares y comercialización regional (Palacios y Cano, 1997). La forma del fruto varía de redonda a oval o acorazonada, peso entre 150 a 300 g, cáscara verde-opaco y carpelos prominentes; la pulpa es blanca, amarillo-crema o roja, con textura ligeramente granular y con numerosas semillas (León, 1989). Los frutos se cosechan cuando la cáscara cambia de color y los segmentos se separan, situación que aproxima a los frutos con el estado de madurez fisiológica (De Andrade *et al.*, 2005). Según Mosca *et al.* (1997) los frutos de saramuyo alcanzan este estado fisiológico 15 a 17 semanas después de la polinización. Los frutos presentan comportamiento climatérico y baja resistencia al manejo postcosecha (De Andrade *et al.*, 2005). Su valor alimenticio se debe a su alto contenido de azúcares (19.2-25.2 g 100 g⁻¹ de pulpa), con un valor energético de 86-114 cal (Morton, 1987; Leal, 1990). En general el saramuyo se consume como fruta fresca, aunque la pulpa presenta un alto potencial para la elaboración de pulpa pasteurizada o congelada, néctares y otras bebidas (Broughton y Tan, 1979; Leal, 1990). Los intentos para aprovechar el potencial comercial de estos frutos, fresco o procesados, requiere establecer programas de selección de germoplasma para identificar materiales sobresalientes en producción, comportamiento fisiológico postcosecha y calidad de fruto. Por tanto, el objetivo del presente trabajo fue determinar el patrón de maduración y la fisiología postcosecha de frutos de saramuyo de una selección sobresaliente de la Universidad Autónoma Chapingo, y con esto definir sus características de calidad y vida postcosecha.

MATERIALES Y MÉTODOS

La fase experimental consistió en la cosecha de 60 frutos de saramuyo de pulpa amarilla con tonalidades rojas, provenientes de

1990). Besides, the acid Ent-16b, 17-dihydroxykaurant-19oic, as one of its components shows anti-HIV activity (Wu *et al.*, 1996). This species is native of Central America and the Antilles, from where it distributed to México and Tropical America (González, 1984; León, 1989). In México, it is found in the Southeast region, mainly in the states of Campeche, Chiapas and Yucatán, with a production of 579.5 t (SAGARPA, 2006). Compared with Brazil, the Philippines and India, where there are commercial plantations and cultivars with high fruit quality (Pinto, 2005), in México it is an underutilized species, with plantations that are based on native materials, production at family orchards, and regional commercialization (Palacios and Cano, 1997). The shape of the fruit varies from round to oval or heart-shaped, with a weight between 150 and 300 g, green-opaque skin color and prominent carpels; the pulp is white, yellow-cream or red, with a slightly granular texture and numerous seeds (León, 1989). The fruits are harvested when the skin changes color and the segments separate, a situation that brings the fruits close to the state of physiological maturity (De Andrade *et al.*, 2005). According to Mosca *et al.* (1997) sweetsop fruits reach this physiological state 15 to 17 weeks after pollination. The fruits present climacteric behavior and low resistance to post-harvest management (De Andrade *et al.*, 2005). Their nutritional value is given by their high content of sugars (19.2-25.2 g 100 g⁻¹ of pulp), with an energetic value of 86-114 calories (Morton, 1987; Leal, 1990). In general, sugar apple is eaten as fresh fruit, although the pulp presents a high potential for the elaboration of pasteurized or frozen pulp, nectars and other beverages (Broughton and Tan, 1979; Leal, 1990). Attempts to use the commercial potential of these fruits, fresh or processed, requires to establish germplasm selection programs in order to identify outstanding materials in terms of production, physiological performance post-harvest and fruit quality. Therefore, the objective of this study was to determine the ripening pattern and the post-harvest physiology in sugar apple fruits from an outstanding selection by the Universidad Autónoma Chapingo, and with this, to define their quality and post-harvest life characteristics.

MATERIALS AND METHODS

The experimental phase consisted of harvesting 60 sugar apple fruits of yellow pulp with red tones, from trees in production from an outstanding selection in terms of production and fruit size, which belonged to the Germplasm Selection Program in Yucatán, established in the Agrobotanical Garden of the Regional University Center, Yucatán Peninsula, of the Universidad Autónoma Chapingo, located in Temozón Norte, Yucatán, México. Climate is Aw warm

árboles en producción de una selección sobresaliente, en cuanto a producción y tamaño de fruto, perteneciente al programa de Selección de germoplasma Yucatán establecido en el jardín Agrobotánico del Centro Regional Universitario, Península de Yucatán, de la Universidad Autónoma Chapingo, localizado en Temozón Norte, Yucatán, México. El clima es Aw cálido subhúmedo, con lluvias en verano, temperatura media anual de 24.5-27.0 °C y precipitación media anual de 805.4 a 1120.5 mm.

Los frutos se cosecharon en madurez fisiológica de acuerdo a criterios usados por los productores: tamaño (200-300 g) y color de la cáscara verde-opaco. Para determinar la fisiología y patrón de maduración, los frutos cosechados se almacenaron en condiciones ambientales (26 ± 2 °C y 60-70 % humedad relativa) por 4 d y se evaluaron las siguientes variables: Velocidad de respiración y producción de etileno con la técnica del estándar externo en un sistema estático (Kays, 1991): se colocaron seis frutos, individualmente, en recipientes sellados herméticamente por 1 h, con jeringa para gases de 1 mL se tomaron muestras del aire situado en el espacio de cabeza y se inyectaron en un cromatógrafo de gases Varian Star con columna megaboro de Porapak Q (15.0 m longitud y 0.32 mm diámetro interno), conectada a un detector de conductividad térmica (210 °C) para CO₂ y ionización de flama (230 °C) para C₂H₄, la temperatura de la columna fue 80 °C y se usó He como gas portador; esta variable se evaluó cada 12 h en los 4 d y los datos se reportaron como mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

Diariamente por 4 d se evaluó la textura por la firmeza de la pulpa mediante un penetrómetro manual Fruit Tester con puntal cónico (8 mm diámetro) y realizando dos medidas opuestas en el diámetro ecuatorial del fruto, así como por el índice de deformación (ID) medido como la carga máxima necesaria para deformar 5 mm el fruto entero en la parte ecuatorial, utilizando un Instron Universal Modelo 4442 con puntal plano; en ambos casos las medidas se reportaron en Newtons (N). Con la misma frecuencia de tiempo se determinó en pulpa la acidez titulable (% de ácido cítrico), sólidos solubles totales (°Brix) y pH según la AOAC (1990), y contenido de antocianinas de acuerdo al método descrito por Fuleki y Francis (1968). También en pulpa diariamente y por 4 d se midió el color utilizando un colorímetro Minolta CR 200, obteniendo los parámetros L^* , a^* y b^* , y calculando el ángulo de matiz o °Hue ($\tan^{-1} b^*/a^*$) y el índice de saturación $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ (McGuire, 1992).

Además se determinó la actividad de las enzimas: 1) pectinmetilesterasa (PME) por el método de Ranganna (1979) por la reacción de una muestra (4 mL) de extracto enzimático (20 g pulpa + 50 mL NaOH 0.2N, pH 7.5) centrifugado (12 500 xg a 4 °C por 25 min), con 30 mL de pectina cítrica (1 %) como sustrato y ajuste de pH a 7.5 y se cuantificaron los grupos metoxilo liberados por la enzima por gramo de sólidos solubles (mg metoxilos g⁻¹); 2) poligalacturonasa (PG) obteniendo el extracto enzimático por el método de Ranganna (1979) y la actividad de la enzima con base al poder reductor usando el método de Nelson (1944), expresando los datos como mmoles de grupos reducidos (mM mL⁻¹ min⁻¹), estableciendo una curva de calibración para ácido galacturónico (0.0-1.0 mM) y absorbancia a 520 nm; 3) polifenoloxidasas (PFO) por el

sub-húmedo, con lluvias de verano, temperatura anual promedio de 24.5-27.0 °C y precipitación anual promedio de 805.4 a 1120.5 mm.

Los frutos se cosecharon en madurez fisiológica, de acuerdo a criterios usados por los productores: tamaño (200-300 g) y color verde-opaco. En orden para determinar la fisiología y patrón de maduración, los frutos cosechados se almacenaron en condiciones ambientales (26 ± 2 °C y 60-70 % humedad relativa) por 4 d, durante los cuales se evaluaron las siguientes variables: velocidad de respiración y producción de etileno, con la técnica del estándar externo en un sistema estático (Kays, 1991): se colocaron seis frutos, individualmente, en recipientes sellados herméticamente por 1 h, muestras de 1 mL de aire se tomaron con jeringas de gas desde el espacio de cabeza y se inyectaron en un cromatógrafo de gases Varian Star con columna megaboro de Porapak Q (longitud 15.0 m y diámetro interno 0.32 mm) conectado a un detector de conductividad térmica (210 °C) para CO₂ y ionización de flama (230 °C) para C₂H₄, la temperatura de la columna fue 80 °C y se usó He como gas portador; esta variable se evaluó cada 12 h durante los 4 d y los datos se reportaron como mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

Diariamente, por 4 d, la textura se evaluó por la firmeza de la pulpa mediante un penetrómetro manual Fruit Tester con puntal cónico (8 mm diámetro) tomando dos mediciones opuestas en el diámetro ecuatorial del fruto, y por el índice de deformación (DI) medido como la carga máxima necesaria para deformar 5 mm el fruto entero en la parte ecuatorial, usando un Instron Universal Modelo 4442 con puntal plano; en ambos casos las mediciones se reportaron en Newtons (N). Con la misma frecuencia, la acidez titulable (% de ácido cítrico), los sólidos solubles (°Brix) y el pH se determinaron para la pulpa, de acuerdo a AOAC (1990), y el contenido de antocianinas de acuerdo al método descrito por Fuleki y Francis (1968). También para la pulpa, y por 4 d, el color se midió diariamente usando un colorímetro Minolta CR 200, obteniendo los parámetros L^* , a^* y b^* y calculando el ángulo de matiz o °Hue ($\tan^{-1} b^*/a^*$) y el índice de saturación $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ (McGuire, 1992).

Además, se determinó la actividad de las enzimas: 1) pectinmetilesterasa (PME) con el método de Ranganna (1979) por la reacción de un extracto enzimático (4 mL) centrifugado (12 500 xg a 4 °C por 25 min), con 30 mL de pectina cítrica (1 %) como sustrato y ajuste de pH a 7.5 y los grupos metoxilo liberados por la enzima por gramo de sólidos solubles (mg metoxilo g⁻¹) se cuantificaron; 2) poligalacturonasa (PG) obteniendo el extracto enzimático con el método de Ranganna (1979) y la actividad de la enzima con base al poder reductor usando el método de Nelson (1944), expresando los datos como mmoles de grupos reducidos (mM mL⁻¹ min⁻¹), estableciendo una curva de calibración para ácido galacturónico (0.0-1.0 mM) y absorbancia a 520 nm; 3) polifenoloxidasas (PPO) con el método de Oktay *et al.* (1995), determinando la actividad basada en la reacción enzimática del catecol y midiendo el aumento en absorbancia a 420 nm (intervalo de reacción lineal de 0 a 120 s), la actividad se expresó en unidades de polifenoloxidasas (UPPO g⁻¹ min⁻¹), considerando como una unidad de PPO el aumento de 0.001 en absorbancia a 420 nm. En orden para determinar el grado de madurez en el cual los frutos alcanzan la mejor calidad comestible, cada día de evaluación se evaluaron seis frutos por un panel de degustación semi-entrenado.

método de Oktay *et al.* (1995), determinando la actividad con base a la reacción catecol-extracto enzimático y midiendo el aumento en absorbancia a 420 nm (intervalo lineal de reacción de 0 a 120 s), la actividad se expresó como unidades de polifenoloxidasas (UPPO $\text{g}^{-1} \text{min}^{-1}$), considerando como unidad PFO al aumento de 0.001 de absorbancia a 420 nm. Para determinar el grado de madurez donde los frutos alcanzan la mejor calidad comestible, para cada día de evaluación seis frutos fueron evaluados por un panel de catación semientrenado mediante una prueba sensorial de preferencia para sabor, aroma y textura.

Cada variable bioquímica y biofísica se midió cada día en seis frutos tomados al azar, considerando cada fruto como una repetición. Los datos de respiración y producción de etileno se graficaron en función del tiempo de muestreo, calculando la media y desviación estándar. Para las demás variables se usó un análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respiración y producción de etileno

Durante la maduración, los frutos de saramuyo mostraron un comportamiento climatérico como lo indicaron De Andrade *et al.* (2005), aumentando significativamente la intensidad respiratoria desde 63.3 mL de $\text{CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ a las 12 h después de cosecha hasta un máximo de 243.1 mL de $\text{CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ después de 72 h, disminuyendo hasta 187.9 mL de $\text{CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ a las 84 h (Figura 1). Esta respuesta manifiesta la acelerada actividad metabólica durante la maduración de los frutos e indica también una corta vida postcosecha. En los frutos del presente trabajo sólo se observó un pico en la velocidad de respiración, a diferencia de lo observado en chirimoya donde hay dos (Palma *et al.*, 1993).

La producción de etileno también aumentó significativamente desde 0.51 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ a las 12 h después de cosecha hasta 0.67 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ a las 84 h, disminuyendo hasta 0.52 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ a las 96 h (Figura 1). La máxima producción de etileno fue menor a la indicada por Tsay y Wu (1990) en saramuyo con 1.5 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ a 28 °C en el cultivar Tsulin y por Vishnu-Prasana *et al.* (2000) con 2.5 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ a 25 °C, lo que indica diferencias en el origen del material vegetal. Contrario a lo reportado en chirimoya (90 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$; Martínez *et al.*, 1993), guanábana (290 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$; Paull, 1982) y atemoya (300 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$; Wills *et al.*, 1984), el pico de etileno de los frutos de saramuyo es muy bajo, lo que permite establecer la hipótesis de que el estímulo para el inicio de los cambios relacionados con la maduración son independientes de etileno. Por tanto, hay otros mecanismos fisiológicos involucrados como el ácido

evaluado, applying a sensorial preference test for taste, aroma and texture.

Each biochemical and biophysical variable was measured daily in six fruits chosen randomly, considering each fruit a repetition. The respiration and ethylene production data were graphed in function of the time of sampling, calculating the average and standard deviation. For the other variables a variance analysis was used and means compared with the Tukey test ($p \leq 0.05$).

RESULTS AND DISCUSSION

Respiration and ethylene production

During ripening, the sugar apple fruits showed a climacteric behavior as was indicated by De Andrade *et al.* (2005), with a significant increase of respiratory intensity from 63.3 mL of $\text{CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ at 12 h after the harvest to a maximum of 243.1 mL of $\text{CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ after 72 h, decreasing to 187.9 mL of $\text{CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ at 84 h (Figure 1). This response shows the accelerated metabolic activity during ripening of the fruits; it also indicates a short post-harvest life. In the fruits used for this study, a single peak was observed in the respiratory velocity, as compared to what has been observed in chirimoya, where there are two (Palma *et al.*, 1993).

The ethylene production was also significantly increased from 0.5 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ at 12 h after the harvest to 0.67 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ at 84 h, decreasing to 0.52 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ at 96 h (Figure 1). The maximum production of ethylene was lower than what Tsay and Wu (1990) indicate for sugar apple, with 1.5 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ at 28 °C in the Tsulin cultivar and by Vishnu-Prasana *et al.* (2000) with 2.5 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ at 25 °C, indicating differences in the origin of the plant material. Contrary to what is reported for chirimoya (90 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$; Martínez *et al.*, 1993), soursop (290 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$; Paull, 1982) and atemoya (300 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$; Willis *et al.*, 1984), the ethylene peak for the sweetsop fruits is very low, which allows establishing the hypothesis that the stimulus for the start of changes related with ripening are independent of ethylene. Therefore, there are other physiological mechanisms involved such as abscisic acid, insofar as this plant hormone is increased during ripening of sugar apple fruits, according to Tsay and Wu (1990).

Physical-chemical changes

One important change during ripening was the quick softening of the fruits, which was manifested by a significant decrease in the firmness of the pulp from 107.9 N 1 d after harvest, to 3.9 N at 4 d. The

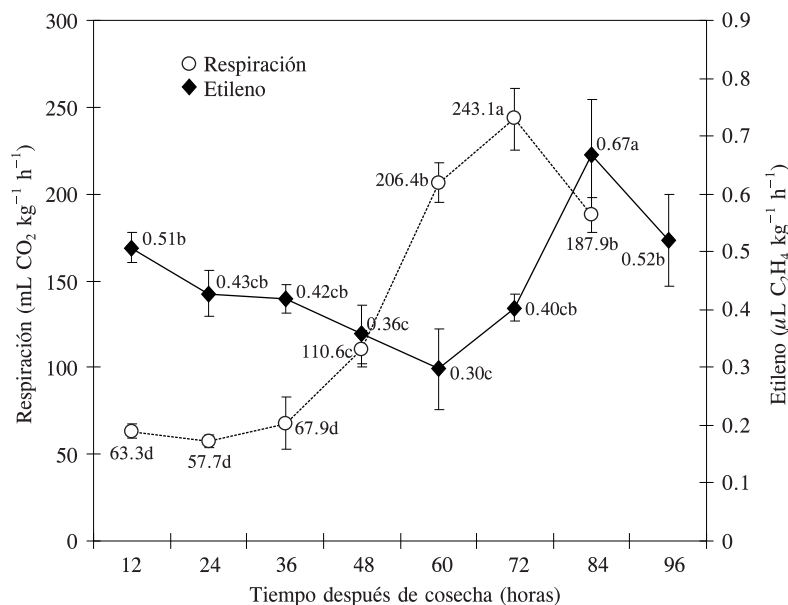


Figura 1. Velocidad de respiración y producción de etileno en frutos de saramuyo almacenados a 26 ± 2 °C. Medias con distinta letra son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). (Medias $\pm$ DE para $n=6$).

Figure 1. Respiration velocity and ethylene production in sugar apple fruits stored at 26 ± 2 °C. Averages with different letters are statistically different ($p \leq 0.05$). (Averages $\pm$ SD for $n=6$).

abscísico, ya que según Tsay y Wu (1990) esta hormona vegetal aumenta durante la maduración de los frutos de saramuyo.

Cambios físico-químicos

Un cambio importante durante la maduración fue el rápido ablandamiento de los frutos, lo cual se manifestó por una significativa disminución de la firmeza de la pulpa desde 107.9 N, 1 d después de cosecha, hasta 3.9 N a los 4 d. El índice de deformación disminuyó de 86.3 N hasta 2.9 N en los mismos periodos (Cuadro 1). En anonáceas el rápido ablandamiento de los frutos está relacionado con una alta velocidad de respiración (Palma *et al.*, 1993), lo que coincide con los resultados obtenidos. Durante la maduración, el pH de la pulpa disminuyó significativamente de 5.8 el día 1 después de cosecha, a 3.8 el día 4, en tanto que el contenido de ácido cítrico aumentó significativamente, de 0.15 a 0.25% en los mismos periodos (Cuadro 1). Pal y Kumar (1995) reportaron 0.30 % de ácido cítrico en frutos de saramuyo en madurez de consumo. Esta respuesta es contraria a la de otros frutos climatéricos donde el contenido de ácidos orgánicos disminuye al evolucionar la maduración; sin embargo, parece ser común en anonáceas como guanábana (Paull, 1982), atemoya (Wills *et al.*, 1984) y chirimoya (Palma *et al.*, 1993). Esto se debe a un proceso de interconversión de azúcares a ácidos orgánicos vía la carboxilación de ácido pirúvico y síntesis de ácido málico (Paull, 1982), que según Wills *et al.* (1984), aumenta durante la maduración de frutos de atemoya.

deformation index decreased from 86.3 N to 2.9 N in the same periods (Table 1). In Annonaceae, the quick softening of fruits is related with a high respiratory velocity (Palma *et al.*, 1993), which coincides with the results obtained. During ripening the pH of the pulp decreased significantly from 5.8 on day 1 after harvest to 3.8 on the day 4, while the content of citric acid increased significantly, from 0.15 to 0.25% in the same periods (Table 1). Pal and Kumar (1995) reported a content of 0.30 % of citric acid in sugar apple fruits in consumption ripeness. This response is contrary to other climacteric fruits where the content of organic acids decreases as ripeness evolves; however, it seems to be common in Annonaceae such as soursop (Paull, 1982), atemoya (Willis *et al.*, 1984) and chirimoya (Palma *et al.*, 1993). This, is due to a process of inter-conversion of sugars into organic acids via the carboxylation of pyruvic acid and synthesis of malic acid (Paull, 1982), which according to Willis *et al.* (1984) is increased during ripening of atemoya fruits.

The content of total soluble solids increased significantly from 12.5 to 21.2 °Brix on the first and fourth day of ripening (Table 1). Concentrations of 18.7 and 16 °Brix have been reported for custard apple (Martínez *et al.*, 1993) and soursop (Paull, 1982), at the moment of consumption ripeness. During ripening of *A. squamosa* the content of starch is high at the moment of physiological maturity and decreases as ripening evolves; in a concomitant manner, the content of sucrose increases up to the climacteric peak, while glucose and fructose continue to increase until over-ripening (Broughton and Tan, 1979). This would explain the increase in the content of total soluble

Cuadro 1. Cambios en componentes físico-químicos durante la maduración de frutos de saramuyo almacenados a 26 ± 2 °C.
Table 1. Changes in physical-chemical components during ripening of sugar apple fruits stored at 26 ± 2 °C.

Variable	Tiempo de maduración (días)			
	1	2	3	4
Firmeza de la pulpa (Newtons)	107.9a	42.2b	11.8c	3.9d
Índice deformación del fruto (Newtons)	86.3a	43.2b	8.8c	2.9c
Sólidos solubles totales (°Brix)	12.5b	15.0ab	18.0ab	21.2a
Acidez titulable (% ácido cítrico)	0.15b	0.17b	0.23a	0.25a
pH (pulpa)	5.8a	5.2a	4.5ab	3.8b

Medias con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

El contenido de sólidos solubles totales aumentó significativamente de 12.5 a 21.2 °Brix al primero y cuarto día de maduración (Cuadro 1). Concentraciones de 18.7 y 16 °Brix han sido reportados para chirimoya (Martínez *et al.*, 1993) y guanábana (Paul, 1982), al momento de la madurez de consumo. Durante la maduración de *A. squamosa* el contenido de almidón es alto al momento de la madurez fisiológica y disminuye al evolucionar la maduración; en forma concomitante el contenido de sacarosa aumenta hasta el pico climatérico, en tanto que glucosa y fructosa continúan aumentando hasta la sobremaduración (Broughton y Tan, 1979). Esto explicaría el aumento en el contenido de sólidos solubles totales observado durante la maduración de los frutos en estudio.

Actividad enzimática

El análisis de la actividad de las enzimas hidrolíticas relacionadas con el ablandamiento, reveló que la actividad de PME disminuyó durante la maduración, siendo significativamente mayor el día 1 después de cosecha ($183.6 \text{ mg metoxilos g}^{-1} \text{ min}^{-1}$). Por el contrario, la actividad de PG aumentó con la maduración, y fue estadísticamente diferente sólo en el día 4 con una actividad de $0.55 \mu\text{M mL}^{-1} \text{ min}^{-1}$ (Cuadro 2). Estos resultados permiten sugerir que los cambios en textura de los frutos de saramuyo están controlados inicialmente por una elevada actividad de PME que favorece la desesterificación de las pectinas y prepara el sustrato para la hidrólisis efectuada por PG (Fischer y Bennet, 1991). La actividad de PFO se duplicó con el proceso de maduración, y 1 d después del máximo climatérico de CO_2 , su valor fue $1.16 \text{ UPPO g}^{-1} \text{ min}^{-1}$ (Cuadro 2). Esto permite establecer una relación entre actividad de polifenoloxidasas e inicio de la senescencia del fruto en la fase postclimatérica. El etileno producido durante la maduración y senescencia altera la integridad de la membrana celular (Yang, 1985), lo que favorece la liberación de PFO y del

sólidos observados durante ripening of the fruits in the study.

Enzymatic activity

The analysis of the activity of hydrolytic enzymes related with softening revealed that the PME activity decreased during ripening, being significantly higher on day 1 after harvest ($183.6 \text{ mg methoxyl g}^{-1} \text{ min}^{-1}$). On the contrary, the PG activity increased as ripening evolved, being statistically different only on day 4 with an activity of $0.546 \mu\text{M mL}^{-1} \text{ min}^{-1}$ (Table 2). These results allow us to suggest that the changes in texture of the sugar apple fruits are initially controlled by a high PME activity that favors the desterification of pectins and prepares the substrate for the hydrolysis carried out by PG (Fischer and Bennet, 1991). The PPO activity was doubled with the maturation process reaching a value of $1.16 \text{ UPPO g}^{-1} \text{ min}^{-1}$ (Table 2) 1 d after the climacteric maximum in CO_2 . This allows to establish a relation between the activity of the polyphenoloxidase and the start of fruit senescence in the post-climacteric phase. The ethylene produced during ripening and senescence alters the integrity of the cellular membrane (Yang, 1985), favoring the liberation of PPO and from the substrate, causing increases in its activity (Radi *et al.*, 1997).

Changes in color and anthocyanin content

The color variables showed significant changes during ripening in the hue angle and in the L^* value, with the first decreasing from 84.92 to 79.95 and the latter from 85.72 to 62.15, during the ripening period; no statistically significant changes were observed in the saturation index (Table 3). These changes reveal an increase in the intensity of the yellow color and red tones in the pulp during ripening, which allows to assume an increase in the biosynthesis of pigments related to those colors. The anthocyanins content, pigments responsible for red, blue and violet colors in

sustrato, causando aumentos en su actividad (Radi *et al.*, 1997).

Cambios en color y contenido de antocianinas

Las variables de color mostraron cambios significativos durante la maduración en el ángulo de matiz y en el valor L^* , disminuyendo el primero de 84.92 a 79.95 y el segundo de 85.72 a 62.15, durante el periodo de maduración; no hubo cambios significativos en el índice de saturación (Cuadro 3). Estos cambios revelan un aumento en la intensidad del color amarillo y tonalidades rojas de la pulpa durante la maduración, lo que permite suponer un aumento en la biosíntesis de pigmentos relacionados con esos colores. El contenido de antocianinas, pigmentos responsables de colores rojo, azul y violeta en tejidos vegetales (Kong *et al.*, 2003), aumentó significativamente desde 0.22 el día 1 después de cosecha, hasta 1.04 mg (100 g)⁻¹ de pulpa al día 4 (Cuadro 3), lo que permite establecer una relación entre estos pigmentos y el color de la pulpa de los frutos de saramuyo.

De acuerdo con los resultados del panel de catación (datos no mostrados), la mejor calidad comestible correspondió a los frutos con 3 y 4 d de exposición a 26±2 °C. Esto define un periodo de maduración (madurez fisiológica a madurez de consumo) muy corto, siendo menor al de chirimoya (6-7 d; Palma *et al.*, 1993), guanábana (6-7 d; Paull, 1982) y atemoya (10-11 d Wills *et al.*, 1984).

plant tissues (Kong *et al.*, 2003), increased significantly from 0.22 on day 1 after harvest to 1.04 (100 g)⁻¹ of the pulp on day 4 (Table 3), which lets us establish a relationship between these pigments and the color of the sugar apple fruits pulp.

According to the results from the tasting panel (data not shown), the best edible quality corresponded to the fruits with 3 and 4 d of exposure to 26±2 °C. This situation defines a very short ripening period (physiological maturity to consumption ripeness), shorter than those of chirimoya (6-7 d; Palma *et al.*, 1993), sour sop (6-7 d; Paull, 1982) and atemoya (10-11 d; Wills *et al.*, 1984).

CONCLUSIONS

The ripening process in the sugar apple fruits was characterized by a very high respiration velocity with a climacteric maximum 3 d after harvest and a very low ethylene production.

As ripening evolves, pulp firmness and resistance of the fruit to deformation rapidly decrease, with the participation in this phenomenon of pectinmethylesterase (PME) and polygalacturonase (PG). The content of total soluble solids (°Brix) and citric acid increases, but the pH decreases. Besides, the yellow and red tones of the pulp become more intense, the latter due to an increase in the anthocyanin concentration. With the start of senescence, the polyphenoloxidase (PPO) activity is increased.

Cuadro 2. Cambios en la actividad de enzimas relacionadas con la maduración de frutos de saramuyo almacenados a 26±2 °C.
Table 2. Changes in activity of enzymes related to the ripening of sugar apple fruits stored at 26±2 °C.

Variable	Tiempo de maduración (días)			
	1	2	3	4
Actividad PME (mg metox.g ⁻¹ min ⁻¹)	183.6a	92.5b	81.4b	56.0b
Actividad PG (μM mg ⁻¹ h ⁻¹)	0.13b	0.28ab	0.33ab	0.55a
Actividad PFO (UPPO g ⁻¹ min ⁻¹)	0.55b	0.71ab	0.71ab	1.16a

Medias con distinta letra en cada hilera son estadísticamente diferentes (p≤0.05).

Cuadro 3. Cambios en el color y contenido de antocianinas de la pulpa durante la maduración de los frutos de saramuyo almacenados a 26±2 °C.
Table 3. Changes in color and anthocyanin content in pulp during ripening of sugar apple fruits stored at 26±2 °C.

Variable	Tiempo de maduración (días)			
	1	2	3	4
Antocianinas (mg 100g ⁻¹)	0.22c	0.49bc	0.73ab	1.04a
Ángulo de matiz (arco tan b^*/a^*)	84.90a	84.92a	79.95b	80.12b
Índice saturación ($[a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$)	12.90a	11.18a	11.33a	10.63a
L^*	85.72a	77.90b	69.10c	62.15c

Medias con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes (p≤0.05).

CONCLUSIONES

El proceso de maduración de los frutos de saramuyo está caracterizado por una muy alta velocidad de respiración con un máximo climatérico 3 d después de cosecha y una muy baja producción de etileno.

Al evolucionar la maduración, la firmeza de la pulpa y resistencia del fruto a la deformación disminuyen aceleradamente; en este fenómeno están involucradas pectinmetilsterasas (PME) y poligalacturonas (PG). El contenido de sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix) y ácido cítrico aumentan, pero el pH disminuye. Además, las tonalidades amarillo y rojo de la pulpa se hacen más intensas, esta última debido a un aumento en la concentración de antocianinas. Con el inicio de la senescencia aumenta la actividad de polifenoloxidasas (PFO).

Las mejores características de sabor, aroma y textura, se alcanzan después de 3-4 d, lo que coincide con el inicio de la fase postclimaterica o senescencia. Así, a 26 ± 2 °C y 60-70% de humedad relativa, la vida postcosecha de los frutos de saramuyo no es más de 4 d.

The best characteristics of flavor, aroma and texture, are reached after 3-4 d, which coincides with the beginning of the post-climacteric phase or senescence. Thus, at 26 ± 2 °C and 60-70% relative humidity, the post-harvest life of the sugar apple fruits is calculated at no more than 4 d.

—End of the English version—



LITERATURA CITADA

- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis of AOAC International. 15th Ed. Vol. II. Association of Official Analytical Chemist. Washington, D.C. USA. pp: 829-830.
- Broughton, W. J., and G. Tan. 1979. Storage conditions and ripening of the custard apple (*Annona squamosa* L.). *Scientia Hort.* 10: 73-82.
- Cordeiro M. C. R., and A. C. de Q. Pinto. 2005. Chemical properties. In: Williams, J. T., R. W. Smith, A. Huhes, N. Haq, and C. R. Clement (eds). *Annona Species*. International Centre for Underutilised Crops, University of Southampton, UK. pp: 124-134.
- De Andrade S. R., R. E. Alves, H. A. C. Filgueiras, and A. de Q. Pinto. 2005. Harvest, postharvest and processing. In: Williams, J. T., R. W. Smith, A. Huhes, N. Haq, and C. R. Clement (eds). *Annona Species*. International Centre for Underutilised Crops, University of Southampton, UK. pp: 124-134.
- FAO. 1990. Utilization of tropical foods, fruits and leaves. *FAO Food and Nutrition Paper* 47(7): 10-14.
- Fischer, R. L., and A. B. Bennett. 1991. Role of cell wall hydrolases in fruit ripening. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Molecular Biol.* 42: 675-703.
- Fuleki, T., and F. J. Francis. 1968. Quantitative methods for anthocyanins 2. Determination of total anthocyanins and degradation index for cranberry juice. *J. Food Sci.* 33: 78-83.
- González C., M. 1984. *Especies Vegetales de Importancia Económica en México*. Ed. Porrúa, México. 305 p.
- Kays, J. S. 1991. *Postharvest Physiology of Perishable Plant Products*. Van Nostrand Reinhold C. New York, USA. 532 p.
- Kong, J. M., L. S. Chiam, N. K. Goh, T. F. Chia, and C. Brouillard. 2003. Analysis and biochemical activities of anthocyanins. *Phytochemistry* 64: 923-933.
- Leal, F. 1990. Sugar Apple. In: Nagy, S., P. E. Shaw, and W. F. Wardowski (eds). *Fruits of Tropical and Subtropical Origin Composition, Properties and Uses*. Florida Science Source, Inc., Lake Alfred, Fla. pp: 149-158.
- León, J. 1989. Compendio de Agronomía Tropical. Tomo II. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. pp: 274-285.
- McGuire, R. G. 1992. Reporting of objective measurements. *HortScience* 27(2): 1254-1255.
- Martínez G., M. Serrano M., T. Pretil, F. Riquelme, and F. Romojas. 1993. Ethylene biosynthesis and physico-chemical changes during fruit ripening of cherimoya (*Annona cherimola* Mill). *J. Hortic. Sci.* 68(4): 477-483.
- Morton, F. J. 1987. *Fruits of Warm Climates*. Ed. Media Incorporated. Miami, Florida. USA. pp: 69-72.
- Mosca, J. L., J. S. Assis, R. E. Alves, H. A. C. Filgueiras, and A. F. Batista. 1997. Physical, physical-chemical and chemical changes during growth and maturation of sugar apple (*Annona squamosa* L.). In: *Memorias del Congreso Internacional de Anonáceas*. Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Chapingo, México. pp: 304-314.
- Nelson, N. 1944. A photometric adaptation of the Somogy method for the determination of glucose. *J. Biol. Chem.* 153: 375-380.
- Oktay, M., I. Kufrevioglu, I. Kocacaliskan, and H. Sakiroglu. 1995. Polyphenoloxidase from 'Amasya' apple. *J. Food Sci.* 60(3): 494-496.
- Pal, D. K., and P. S. Kumar. 1995. Changes in the physico-chemical and biochemical composition of custard apple (*Annona squamosa* L.) fruits during growth, development and ripening. *J. Hortic. Sci.* 70: 569-572.
- Palacios R., M. I., y G. G. V. Cano. 1997. La comercialización de anonáceas en México. In: *Memorias del Congreso Internacional de Anonáceas*. Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Chapingo, México. pp: 68-91.
- Palma, T., J. M. Aguilera, and D. W. Stanley. 1993. A Review of postharvest events in cherimoya. *Postharvest Biol. Technol.* 2: 187-208.
- Paull, E. R. 1982. Postharvest variation in composition of soursop (*Annona muricata* L.) fruit in relation to respiration and ethylene production. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 107(4): 582-585.
- Pinto, A. C. de Q. 2005. Major and minor production areas. In: Williams, J. T., R. W. Smith, A. Huhes, N. Haq, and C. R. Clement (eds). *Annona Species*. International Centre for Underutilised Crops, University of Southampton, UK. pp: 21-25.
- Radi, M., M. Mahrouz, and A. Jaouad. 1997. Phenolic composition, browning susceptibility and carotenoid content of several apricot cultivars at maturity. *HortScience* 32: 1087-1091.
- Rangana, S. 1979. *Manual of Analysis of Fruits and Vegetables products*. Ed. Tata McGraw Hill Publishing Company Limited, New Delhi. 20 p.
- SAGARPA, 2006. Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. www.sagarpa.gob.mx. Consultado en septiembre, 2008.
- Tsay, L. M., and M. C. Wu. 1990. Studies on the physico-chemical properties of postharvest sugar apple. *Acta Hort.* 290: 241-247.

- Vishnu-Prasana, K. N., D. V. Sudhakarda-Rao, and S. Krishnamurthy. 2000. Effect of storage temperature on ripening and quality of custard apple (*Annona squamosa* L.) fruits. J. Hort. Sci. Biotechnol. 75(5): 546-550.
- Wills, R. B. H., A. Poi, and H. Greenfield. 1984. Postharvest changes in fruit composition of *Annona atemoya* during ripening and effects of storage temperature on ripening. HortScience 19(1): 96-97.
- Wu, Y. C., Y. C. Hung, F. R. Chang, M. Cosentino, H. K. Wang, and K. H. Lee. 1996. Identification of Ent-16b,17-Dihydroxykauran-19-oic Acid as an Anti-HIV principle and isolation of the new diterpenoids annosquamosin A and B from *Annona squamosa*. J. Natural Products 59(6): 635-637.
- Yang, S. F. 1985. Biosynthesis and action of ethylene. HortScience 20(1): 41-45.