

CAMBIOS BIOQUÍMICOS, BIOFÍSICOS Y FISIOLÓGICOS DURANTE EL CRECIMIENTO Y MADURACIÓN DEL FRUTO DE ILAMA (*Annona diversifolia* Saff.)

BIOCHEMICAL, BIOPHYSICAL AND PHYSIOLOGICAL CHANGES DURING THE GROWTH AND MATURATION OF ILAMA FRUIT (*Annona diversifolia* Saff.)

Delia Moreno-Velázquez^{1*}, Crescenciano Saucedo-Veloz², Lourdes Arévalo-Galarza²,
Cecilia B. Peña-Valdivia², Marcos Soto-Hernández², Blas Cruz-Lagunas³

¹Universidad Politécnica de Francisco I. Madero. Km 2 Carretera Tepatepec, San Juan Tapa, Francisco I. Madero. 42600. Hidalgo. ²Genética. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. ³Universidad Autónoma de Guerrero. Periférico Poniente S/N. 40036. Iguala, Guerrero.

RESUMEN

En México el fruto de ilama (*Annona diversifolia* Saff.) normalmente se comercializa agrietado en la base del pedúnculo y sin éste. En consecuencia tiene corta vida de anaquel y es más susceptible a las pudriciones. En este trabajo se evaluaron los cambios bioquímicos, biofísicos y fisiológicos durante el desarrollo del fruto de ilama con pulpa blanca y rosa, con el objetivo de conocer su patrón de crecimiento y maduración en la planta. Se etiquetaron flores abiertas de 30 árboles (15 de pulpa blanca y 15 de pulpa rosa) ubicados en el poblado de San Lorenzo, Municipio de Ajuchitlán, Guerrero, México. Se realizaron muestreos en diferentes etapas de crecimiento de los frutos, evaluándose en cada uno de ellos el peso total del fruto, proporción de pulpa y cáscara, intensidad respiratoria, producción de etileno, azúcares totales y reductores, sólidos solubles totales (°Bx) y contenido de vitamina C. Ambos tipos de fruto (pulpa blanca y rosa) presentaron un patrón de crecimiento doble sigmoide con un periodo total de desarrollo de 99 d después de la floración (DDF). La fase lenta de crecimiento del fruto coincidió con una disminución en la intensidad respiratoria, la producción de etileno se detectó sólo hasta 99 d después de la floración, que coincidió con la máxima acumulación de azúcares totales, reductores y °Bx. Sin embargo en el fruto de ambos tipos se inició un aumento significativo en el contenido de azúcares totales, reductores y °Bx a partir de los 85 DDF, lo que indica el inicio del proceso de maduración.

Palabras clave: *Annona diversifolia* Saff., intensidad respiratoria, peso del fruto, producción de etileno, sólidos solubles, vitamina C.

INTRODUCCIÓN

La ilama (*Annona diversifolia* Saff.) es una especie del género *Annona* con alto potencial para su cultivo, debido al excelente sabor y

ABSTRACT

In México ilama fruit (*Annona diversifolia* Saff.) is normally sold with cracks at the base of the peduncle and without it. Consequently, it has a short shelf life and is more susceptible to rot. This study evaluates the biochemical, biophysical and physiological changes during development of white and pink pulped ilama fruit to determine its growth and maturation pattern on the plant. Open flowers on 30 trees (15 white pulp and 15 pink pulp) located in San Lorenzo, Municipality of Ajuchitlán, Guerrero, México, were tagged. Samples were taken at different fruit growth stages to record total fruit weight, proportion of pulp and peel, respiratory intensity, ethylene production, total and reducing sugars, total soluble solids (°Bx), and vitamin C content. Both types of fruit (white and pink pulp) had a double sigmoid growth pattern with a period of total development of 99 d after flowering (DAF). The slow fruit growth phase coincided with a decrease in respiratory intensity; ethylene production was not detected until 99 DAF, when maximum accumulation of total and reducing sugars and °Bx were recorded. However, both types of fruits initiated a significant increase in total and reducing sugars and °Bx as of 85 DAF, indicating the beginning of the ripening process.

Key words: *Annona diversifolia* Saff., respiratory intensity, fruit weight, ethylene production, soluble solids, vitamin C.

INTRODUCTION

Ilama (*Annona diversifolia* Saff.) is a species of the genus *Annona* with high potential as a cultivated crop. The fruit's excellent flavor and aroma make it highly acceptable for use as fresh or processed fruit (FAO, 1992). Medicinally, it has been reported that the Palmitone compound obtained from its leaves has properties that can be used in the treatment of epilepsy with no sedative or hypnotic side effects. It is a semi-deciduous

* Autor responsable.

Recibido: Enero, 2007. Aprobado: Mayo, 2008.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 42: 407-414. 2008.

aroma de sus frutos que los hacen aceptables para su aprovechamiento como fruta fresca o para su procesamiento (FAO, 1992). Medicinalmente, se ha reportado que el compuesto Palmitona, obtenido de las hojas, presenta propiedades antiepilépticas con la ventaja de no producir efectos secundarios de sedación o hipnosis (González-Trujano *et al.*, 2006). Es un frutal subcaducifolio que se desarrolla en regiones calurosas con alternancia de estación seca y húmeda (Morton, 1987; León, 1989). En México su producción se localiza en los estados de Campeche, Chiapas, Colima, Guerrero, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Sinaloa y Veracruz (Chávez *et al.*, 1999). Actualmente la producción, que se obtiene de manera natural, sin ningún tipo de manejo agronómico, se limita a huertos familiares con plantas provenientes de semilla, con la consecuente heterogeneidad genética (Otero-Sánchez *et al.*, 2006). Los frutos, que botánicamente son agregados, indehiscentes y pubescentes con pulpa de color rosa o blanca (Pennington y Sarukhan, 1968), se cosechan cuando ocurre el agrietamiento de la base del pedúnculo, lo que de acuerdo con los productores coincide con la madurez de consumo; sin embargo, ello favorece el ataque de microorganismos causantes de pudriciones y acelera el deterioro del fruto, que limita su vida de anaquel a un periodo máximo de tres días (Chávez *et al.*, 1999). La información sobre estudios de fisiología del crecimiento en frutos de ilama es limitada, lo que dificulta definir otros estados de cosecha que permitan un mayor tiempo de vida útil de los frutos con calidad adecuada. El objetivo del presente trabajo fue determinar algunos de los cambios bioquímicos, biofísicos y fisiológicos que se presentan durante el crecimiento y maduración en el árbol de frutos de ilama provenientes de tipos con pulpa rosa y pulpa blanca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

El experimento se realizó en un huerto familiar con árboles nativos de 15 años de edad, ubicado en San Lorenzo, Municipio de Ajuchitlán, Guerrero, México. Durante el período de floración (28 de junio a 1 de julio de 2004) se etiquetó un total de 150 flores abiertas de 30 árboles, 15 que producen frutos con pulpa blanca y 15 con pulpa rosa. Con base en un estudio preliminar realizado en 2003 (datos no incluidos), se estableció que los frutos de ilama requirieron de alrededor de 100 d después del periodo de apertura de flores para completar su crecimiento y maduración, por lo que se realizaron cuatro muestreos con intervalos de 15 d durante los dos primeros meses y seis muestreos, con un intervalo de ocho d, hasta que el fruto inició su maduración y se agrietó en la base peduncular y se pudo separar manualmente del árbol. Para cada muestreo se registran los días después de floración (DDF). En cada muestreo se cosechó

fruit free which grows in hot regions where dry and rainy seasons alternate (Morton, 1987; León, 1989). Production in México is located in the states of Campeche, Chiapas, Colima, Guerrero, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Sinaloa and Veracruz (Chávez *et al.*, 1999). Currently, production, which is obtained naturally without any type of agronomic management, is limited to family orchards with plants grown from seed which are, consequently, genetically heterogeneous (Otero-Sánchez *et al.*, 2006). The fruits are botanically aggregate, indehiscent and pubescent with pink or white flesh (Pennington and Sarukhan, 1968) and are harvested when the base of the peduncle cracks and, according to growers, is ripe enough to eat. Cracking, however, favors attack by microorganisms that cause rotting and accelerates deterioration of the fruit, limiting its shelf life to at most three days (Chávez *et al.*, 1999). There are few studies on growth physiology of ilama fruit is limited, making it difficult to define other stages in which to harvest the fruit to give it a longer shelf live with adequate quality characteristics. The objective of this study was to determine some of the biochemical, biophysical and physiological changes that occur during growth and maturation of both white and pink fleshed ilama fruits on the tree.

MATERIALS AND METHODS

Plant material

The experiment was conducted with 15-year-old native trees in a backyard garden located in San Lorenzo, Municipality of Ajuchitlán, Guerrero, México. During the flowering period (June 28 to July 1, 2004), a total of 150 open flowers from 30 trees were tagged; 15 that produce fruits with white pulp and 15 with pink pulp. A preliminary study conducted in 2003 (data not included) established that ilama fruits require around 100 d after flower opening to complete growth and maturation. Therefore, samples were taken four times with intervals of two weeks during the first two months and six times at intervals of one week until fruits began to mature and the base of the peduncle cracked, when they could be detached from the tree by hand. For each sampling, DAF were recorded, and 12 tagged fruits were sampled at random from the 15 trees bearing fruit of each pulp color. Within a lapse of 18 h, the fruits were transported to the Postharvest Physiology Laboratory at the Colegio de Postgraduados, Montecillos, Texcoco, State of México. Biophysical (fruit weight, proportion of pulp and peel), biochemical (total and reducing sugars, total soluble solids and concentration of ascorbic acid), physiological (respiration rate and ethylene production) variables were measured. Biophysical and biochemical determinations were replicated four times and physiological determinations were replicated six times, one fruit per replication.

12 frutos etiquetados tomados al azar de los 15 árboles para cada color de pulpa. En un lapso de 18 h se trasladaron al Laboratorio de Fisiología Postcosecha del Colegio de Postgraduados en Montecillo, Texcoco, Estado de México, donde se midieron variables biofísicas (peso de fruto, proporción de pulpa y cáscara), bioquímicas (azúcares totales y reductores, sólidos solubles totales y concentración de ácido ascórbico), y fisiológicas (velocidad de respiración y producción de etileno). Para las determinaciones biofísicas y bioquímicas se hicieron cuatro repeticiones y para las fisiológicas seis repeticiones con un fruto por repetición.

Variables evaluadas

Peso del fruto

Se midió el peso individual (g) de seis frutos por color de pulpa y periodo de muestreo, utilizando una balanza electrónica (ALSEP modelo EY-2200 A).

Proporción de cáscara y pulpa

Una vez pesados individualmente los frutos, se separó y pesó pulpa y cáscara; con los datos se calculó el porcentaje de ambos componentes en relación con el fruto entero.

Azúcares totales y reductores

El contenido de azúcares totales (%) se determinó en pulpa por el método colorimétrico de antrona (Witham *et al.*, 1971) y el de azúcares reductores (%) con el de Nelson (1944) y Somogy (1952).

Sólidos solubles totales

Se determinó mediante el método descrito por la AOAC. (1990), para lo cual se tomó una muestra de pulpa filtrada en un cedazo y se colocó una gota de jugo en un refractómetro ATAGO y se obtuvo directamente la lectura de sólidos solubles totales expresados en °Brix.

Contenido de ácido ascórbico

Se determinó con base en el método colorimétrico del 2,6-diclorofenol-indofenol (AOAC, 1990). Se tomó una muestra de 5 g de pulpa y se homogeneizó con 50 mL de ácido oxálico (5 g 100 mL⁻¹), se tomó una alícuota de 5 mL que se tituló con la solución de Tillman (2,6-diclorofenol indofenol al 0.02%, Merk) hasta que el color rosa permaneció visible por 1 min. La cantidad (mg 100 g⁻¹) de ácido ascórbico se calculó por referencia con soluciones de ácido ascórbico de concentración conocida.

Intensidad respiratoria y producción de etileno

Se determinó por cromatografía de gases, de acuerdo con el método estático (Salveit y Sharaf, 1992) utilizando un cromatógrafo

Evaluated variables

Fruit weight

Six fruits for each pulp color and sampling period were weighed (g) individually with an electronic scale (ALSEP model EY-2200 A).

Proportion of peel and pulp

Once fruits were weighed individually, pulp and peel were separated and weighed. With this data, the percentage of whole fruit to each component comprised was calculated.

Total and reducing sugars

The total content of sugars (%) was determined in the pulp by the antrone colorimetric method (Witham *et al.*, 1971) and reducing sugars (%) with that of Nelson (1944) and Somogy (1952).

Total soluble solids

Total soluble solids were determined with the method described by AOAC (1990). For this test, a drop of juice from a sample of pulp filtered through a sieve was placed in an ATAGO refractometer, which gave a direct reading of total soluble solids expressed in °Brix.

Ascorbic acid content

Ascorbic acid content was determined with the 2,6-dichlorophenol-indophenol colorimetric method (AOAC, 1990). A sample of 5 g of pulp was homogenized with 50 mL of oxalic acid (5 g 100 mL⁻¹). A 5 mL aliquot of this was titrated with Tillman solution (0.02% 2,6-dichlorophenol-indophenol, Merck) until the pink color remained visible for 1 min. The quantity (mg 100 g⁻¹) of ascorbic acid was calculated by comparison with ascorbic acid solutions of known concentrations.

Respiratory intensity and ethylene production

This variable was determined by gas chromatography following the static method (Salveit and Sharaf, 1992) with a gas chromatograph (Hewlett Packard 5890, series II) equipped with a thermal conductivity detector (TCD) and a flame ionization detector (FID). The column is a porous layer open-tubular (PLOT) capillary column of cast silica and a poraplot stationary phase (27.5 m long, 0.32 mm internal diameter, 0.45 mm external diameter, 10- μ m-thick film) connected simultaneously to an FID for ethylene and to a TCD for CO₂. This was determined in six intact fruits placed individually in different recipients of known volume and hermetically sealed for 1 h. Column temperature was 150 °C; for FID and TCD temperature was 180 °C, with pressure at 99 Pa and He as drag gas (32.3 mL min⁻¹ flow). The results are expressed in mL of CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ and μ L of C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹.

de gases (Hewlett Packard 5890, serie II) equipado con un detector de conductividad térmica (TCD) y un detector de ionización de flama (FID). La columna es de tipo capilar, con empaque de capa porosa de sílica fundida (PLOT) y fase estacionaria poraplot (27.5 m longitud, 0.32 mm diámetro interno, 0.45 mm diámetro externo, 10 μm grosor de película), conectada simultáneamente a un detector de ionización de flama (FID) para etileno y a uno de conductividad térmica (TCD) para CO_2 . Esta determinación se hizo en seis frutos enteros colocados individualmente en diferentes recipientes con volumen conocido y cerrados herméticamente durante 1 h. La temperatura de la columna fue 150 °C y para el FID y TCD fue 180 °C, con una presión de 99 Pa y He como gas de arrastre (flujo de 32.3 mL min^{-1}). Los resultados se expresaron en mL de CO_2 $\text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ y μL de C_2H_4 $\text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$.

Diseño experimental

Los datos de respiración y producción de etileno se graficaron en función del tiempo de muestreo, calculando la media y desviación estándar. Para el resto de las variables a los resultados se les realizó un análisis de varianza (diseño completamente al azar), y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) (SAS Institute, 1990).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Peso del fruto

Los frutos de ilama incrementaron su peso a partir de la apertura de flores y hasta la madurez de cosecha (agrietamiento de la cáscara), a 99 DDF tanto para los de pulpa blanca como rosa. El peso de los de pulpa blanca tuvo un rápido incremento durante los primeros 57 DDF, alcanzando un promedio de 249.26 g; posteriormente el peso sólo se incrementó en 5.0% del peso total alcanzado durante los siguientes 14 DDF, para finalmente alcanzar un promedio de 336.6 g en la cosecha. En el caso de los frutos con pulpa rosa el peso se incrementó hasta 306.6 g durante los primeros 57 DDF, con un aumento de 2.31% en los siguientes 21 DDF, para posteriormente alcanzar un peso promedio de 402.7 g. Estos resultados sugieren que, de acuerdo con el aumento acumulativo en peso fresco, el peso de los frutos de ilama sigue un patrón de crecimiento doble sigmoide, al igual que otras anonáceas como chirimoya (Yonemoto y Nakao, 1993), guanábana (Franco-Mora *et al.* 2001) y saramuyo (Pal y Kumar, 1995). De acuerdo con Worrell *et al.* (1994), durante la fase de lento crecimiento en anonáceas se presenta el crecimiento y desarrollo del embrión donde para el caso de los frutos de pulpa blanca resultó 7 d más corta que los de pulpa rosa (Figura 1).

El menor tamaño de los frutos con pulpa blanca respecto a los de pulpa rosa, aunque tuvieron las mismas condiciones agro climatológicas de desarrollo, implica

Experimental Design

Respiration and ethylene production data were graphed in function of sampling time, calculating the mean and standard deviation. For the rest of the variables, the results were subjected to an analysis of variance (completely random design), and the means were compared with the Tukey test ($p \leq 0.05$) (SAS Institute, 1990).

RESULTS AND DISCUSSION

Fruit weight

Ilama fruits increased its weight from flower opening to harvest maturity (peel cracking), requiring 99 days, for both white and pink pulp. White pulp fruit weight increased rapidly during the first 57 DAF, reaching an average of 249.26 g; after this, in the following 14 d weight increased only 5.0% of the total fruit weight, reaching a final weight of 336.6 g at harvest. In the case of pink pulp fruit, weight increased to 306.6 g during the first 57 DAF, with an increase of 2.31% in the following 21 d to a final average weight of 402.7 g. These results suggest that, on the basis of the accumulative increase in fresh weight, ilama fruits follow a double sigmoid growth pattern, like other annonaceas such as cherimoya (Yonemoto and Nakao, 1993), guanabana (Franco-Mora *et al.*, 2000) and saramuyo (Pal and Kumar, 1995). According to Worrell *et al.* (1994), during the slow growth phase of annonaceas, the embryo grows and develops; this phase is 7 d shorter in white pulp fruit than in pink pulp fruit (Figure 1).

Although agro-climatological growth conditions were the same, the fact that white pulp fruits were smaller than pink pulp fruits indicates that genetic expression of the plants was different. Also, because fruit size depends on its potential to supply photosynthates and on availability of nutrient and water, the level of plant hormones directly or indirectly affects genetic expression and, therefore, fruit morphogenesis (Cowan *et al.*, 2001).

Proportion of pulp and peel

During the 99 daf assessment period, pulp and peel proportion, in general, tended to decrease, and at harvest, the proportion of pulp in white and pink pulp fruits was 35.4 and 32.8%. The proportion of peel increased significantly, and results show a larger proportion of peel (10% more) in pink pulp fruits than in white pulp fruits. The two components (pulp and peel) make up 74.6% of white pulp fruit and 82.0% of pink pulp fruit; the rest is seed and peduncle (Table 1). Similar proportions have been reported in ilama fruit

la presencia de plantas con diferente expresión genética. Al respecto Cowan *et al.* (2001) señalan que la expresión genética, la morfogénesis y por tanto el tamaño final de los frutos depende del potencial de abastecimiento de fotosintatos, de la disponibilidad de nutrientes y agua; y de la concentración endógena de hormonas vegetales, todo lo cual influye directamente o indirectamente.

Proporción de pulpa y cáscara

Al momento de la cosecha, la proporción de pulpa en los frutos de pulpa blanca y rosa alcanzó 35.4 y 32.8%, con una tendencia general a disminuir durante el período evaluado (99 DDF). La proporción de cáscara presenta un incremento significativo resultando mayor en los de pulpa rosa que en los de pulpa blanca (10%). Ambos componentes (pulpa y cáscara) son 74.6% para pulpa blanca y 82.0% para pulpa rosa, correspondiendo el resto a semilla y pedúnculo (Cuadro 1). Proporciones similares se han reportado en frutos de ilama (Estrada y Marroquín, 1995) en donde 49 y 41% correspondieron a pulpa y cáscara; en saramuyo el contenido de pulpa puede variar de 54 a 62 % (Pal y Kumar, 1995).

Intensidad respiratoria y producción de etileno

La intensidad respiratoria en los frutos de ilama descendió durante la fase I (15 a 57 DDF) desde 129.7 y 272.9 hasta 103.8 y 94.09 mL de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ en los frutos con pulpa blanca y rosa respectivamente (Figura 2). En la fase II (58 a 78 DDF) se presentó un aumento súbito hasta 117.6 y 127.7 mL de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ en los frutos con pulpa blanca y rosa; y durante la fase III (79 a 99 DDF) los valores no se modificaron significativamente, lo cual coincide con lo reportado por Pal y Kumar (1995) en frutos de saramuyo. La producción de etileno se detectó hasta el momento de la cosecha (99 DDF) con 227.3 y 83.20 μL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹ en frutos de pulpa blanca y rosa respectivamente, periodo que coincide con la máxima acumulación de azúcares (totales y reductores) y sólidos solubles totales, lo cual sugiere la activación de enzimas hidrolíticas por etileno, favoreciendo la degradación de compuestos de reserva (Hubbard *et al.*, 1990).

Azúcares totales, azúcares reductores y sólidos solubles totales (SST)

Se observó un lento incremento de los azúcares entre 57 y 78 DDF (Cuadro 2), periodo que coincidió con la fase II de la curva de crecimiento (Figura 1), etapa en que se presenta la acumulación de azúcares del tipo estructural y de reserva dirigidos a la semilla

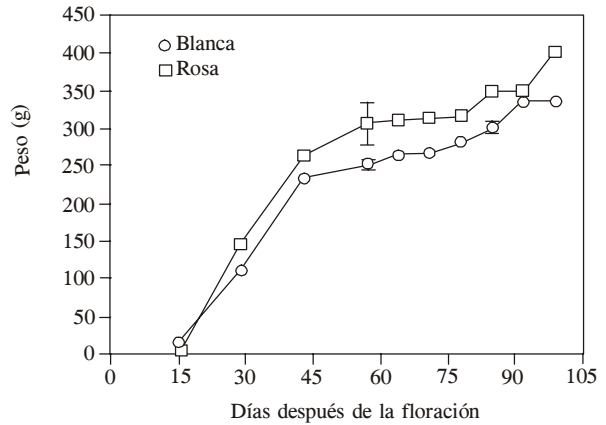


Figura 1. Cambios en el peso fresco de frutos de ilama de pulpa blanca y rosa. Medias ± DE. N=6.
Figure 1. Changes in fresh weight of white and pink pulp ilama fruit. Means ± standard deviation. N=6.

(Estrada and Marroquin, 1995), of which 49% was pulp and 41% peel, while in saramuyo pulp content can vary from 54 to 62% (Pal and Kumar, 1995).

Respiratory intensity and ethylene production

Respiratory intensity in ilama fruits during phase I (15 to 57 DAF) decreased from 129.7 and 272.9 to 103.8 and 94.09 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ in white and pink pulp fruits, respectively (Figure 2). In phase II (58 to 78 daf) there is a sudden rise up to 117.6 and 127.7 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ in white and pink pulp fruit, respectively. During phase III (79 to 99 daf) the values did not

Cuadro 1. Proporción de pulpa y cáscara (%) en frutos de ilama de pulpa blanca y rosa durante el desarrollo.
Table 1. Proportion of pulp and peel (%) in white and pink pulp ilama fruits during development.

DDF†	Proporción de pulpa respecto al fruto entero (%)		Proporción de cáscara respecto al fruto entero (%)	
	Blanca	Rosa	Blanca	Rosa
15	68.0 a	62.4 a	22.1 d	25.8 c
29	43.3 b	46.2 b	46.3 a	42.4 b
43	41.0 b	40.8 c	44.2 a	40.5 b
57	43.7 b	36.0 c	41.1 b	43.0 b
64	39.1 b	35.0 d	40.2 b	44.9 a
71	39.0 b	34.9 d	37.9 c	43.9 b
78	38.6 b	34.8 d	37.9 c	43.6 b
85	40.1 b	39.1 c	36.6 c	40.8 b
92	39.9 b	37.2 c	41.1 b	43.0 b
99	35.4 c	32.8 e	39.2 b	49.2 a
DMS	5.12		5.01	

Medias con distinta letra en la columna son estadísticamente diferentes (p≤0.05). n=4.

† DDF=días después de floración. Fase I (15 a 57 DDF), Fase II (58 a 78 DDF) y Fase III (79 a 99 DDF).

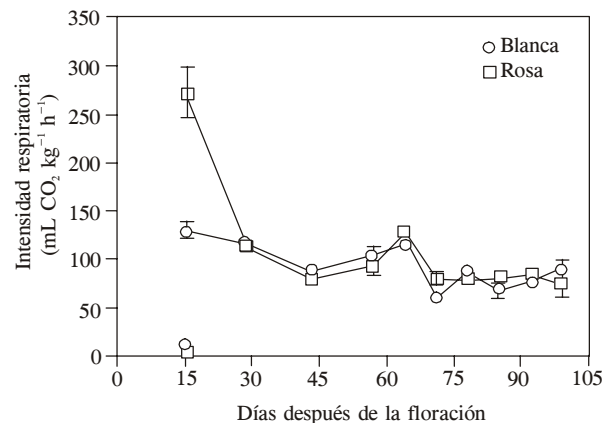


Figura 2. Intensidad respiratoria de frutos de ilama de pulpa blanca y rosa durante su desarrollo. Medias \pm DE. N=6.
Figure 2. Respiratory intensity of white and pink pulp ilama fruits. Means \pm standard deviation. N=6.

(Agustí, 2004; Chalmers y van den Ende, 1977). La mayor acumulación de azúcares totales, reductores y sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Bx) se presentó durante la última etapa de crecimiento, para el caso de los frutos de pulpa blanca a partir de los 78 DDF, mientras que los de pulpa rosa a los 85 d alcanzando a la cosecha los valores para los de pulpa blanca y rosa de 12.6 y 12.8% en azúcares totales, 6.3 y 10.4 en azúcares reductores, y 13.0 y 14.8 $^{\circ}$ Bx respectivamente (Cuadro 2). Un comportamiento similar se presentó en frutos de saramuyo, donde el contenido de azúcares reductores y no reductores fueron bajos al inicio del crecimiento pero tuvieron un incremento sustancial conforme avanzó la maduración (Pal y Kumar, 1995).

Cabe señalar, sin embargo, que a los 99 DDF, aunque hubo mayor acumulación de azúcares, se presentó el agrietamiento en la base del pedúnculo, por lo cual se consideró que a los 85 DDF los frutos de ambos tipos tienen características organolépticas aceptables sin la presencia de agrietamiento, con la consecuente vida de anaquel mayor.

Vitamina C

El ácido ascórbico (vitamina C) en los frutos de ilama se incrementó hasta alcanzar el valor máximo a los 85 DDF y después decreció hasta valores promedio de 8.2 y 8.6 mg 100 g⁻¹ en los frutos con pulpa blanca y rosa a los 99 DDF (Cuadro 3). Los resultados muestran que el contenido de vitamina C, es menor en promedio que en otras anonáceas como chirimoya (10.6 mg 100 g⁻¹) (Murata, 1997), en guanábana (20.4 mg 100g⁻¹), saramuyo (38.7 mg 100g⁻¹) y atemoya (46.5 mg 100 g⁻¹) (Nakasone y Paull, 1998). Hubo una disminución significativa de vitamina C después de los 85 DDF coincidiendo con el agrietamiento natural del

change significantly, coinciding with results reported by Pal and Kumar (1995) in saramuyo fruits. Ethylene production was not detected until harvest (99 daf) with 227.3 and 83.20 μ L kg⁻¹ h⁻¹ in white and pink pulp fruits, respectively; this period coincides with the maximum accumulation of sugars (total and reducing) and total soluble solids, suggesting the activation of hydrolytic enzymes by ethylene and, thus, favoring degradation of reserve compounds (Hubbard *et al.*, 1990).

Total sugars, reducing sugars and total soluble solids (SST)

A slow increase in sugars was observed between 57 and 78 daf, period that coincides with phase II of the growth curve (Figure 1). It is in this stage that there is an accumulation of structural type sugars and of those reserved for the seed (Agustí, 2004; Chalmers and van den Ende, 1977). The greatest accumulation of total and reducing sugars and total soluble solids ($^{\circ}$ Bx) occurred during the last growth stage: in the case of white pulp fruit, as of 78 daf, while for pink pulp fruit it was 85 daf. By harvest, the values for white and pink pulp fruits reached 12.6 and 12.8% total sugars, 6.3 and 10.4% reducing sugars, and 13.0 and 14.8 $^{\circ}$ Bx, respectively (Table 2). This is similar to saramuyo fruit in which reducing and non-reducing sugar contents were low at initial growth, but increased substantially as the fruits matured (Pal and Kumar, 1995).

It is relevant, however, that 99 DAF, although there was greater accumulation of sugars, the base of the peduncle cracked. Therefore, it can be considered that 85 daf, before cracking occurs, fruits of both types have organoleptic characteristics that are acceptable, and consequently, shelf life is longer.

Vitamin C

Ascorbic acid (vitamin C) in ilama fruits increased until reaching its maximum value 85 daf, after which it decreased to average values of 8.2 and 8.6 mg 100 g⁻¹ in white pulp and pink pulp fruits 99 daf (Table 3). The results show that the vitamin C content is on average lower than in other anonáceas such as chirimoya (10.6 mg 100 g⁻¹) (Murata, 1997), guanabana (20.4 mg 100 g⁻¹), saramuyo (38.7 mg 100 g⁻¹), and atemoya (46.5 mg 100 g⁻¹) (Nakasone and Paull, 1998). There was a significant decrease in vitamin C after 85 daf, which coincides with the natural cracking of the fruit, suggesting loss of vitamin C by oxidation (Lee and Kader, 2000).

Cuadro 2. Contenido de azúcares totales, reductores (%) y sólidos solubles totales (°Bx) en frutos de ilama con pulpa blanca y rosa durante su desarrollo.

Table 2. Content of total and reducing sugars (%) and total soluble solids (°Bx) in white and pink pulp ilama fruits during development.

DDF [†]	Azúcares totales (%)		Azúcares reductores (%)		Sólidos solubles totales (°Bx)	
	Blanca	Rosa	Blanca	Rosa	Blanca	Rosa
	29	4.1 e	4.6 f	0.6 c	0.7 e	4.4 g
43	4.2 e	5.1 f	1.3 c	1.2 e	4.5 g	5.1 f
57	4.2 e	6.1 e	1.5 c	2.3 d	6.0 f	6.0 e
64	4.7 e	6.6 e	1.8 c	2.6 d	7.0 e	6.6 e
71	6.6 d	7.5 d	2.3 c	2.9 d	7.1 e	7.7 d
78	8.2 c	8.0 c	2.5 c	4.3 c	8.1 d	8.9 c
85	9.5 b	8.5 c	2.6 b	5.5 b	9.4 c	9.4 c
92	9.9 b	11.8 b	4.9 a	6.8 b	11.3 b	10.2 b
99	12.6 a	12.8 a	6.3 a	10.4 a	13.0 a	14.8 a
DMS	0.67		2.32		0.65	

Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). N=4.

[†]DDF=días después de la floración. Fase I (15 a 57 DDF), Fase II (58 a 78 DDF) y Fase III (79 a 99 DDF).

fruto, lo que sugiere la pérdida de vitamina C por oxidación (Lee y Kader, 2000).

CONCLUSIONES

Los frutos de ilama de pulpa blanca y rosa presentaron un patrón de crecimiento doble sigmoide con duración de 99 DDF, incluyendo la primera etapa de maduración del fruto. La fase I se caracteriza por un rápido crecimiento en el cual el fruto alcanza 74 y 76% de su peso total correspondiendo para los frutos de pulpa blanca 336.6 g y para los de pulpa rosa 402.7 g. En los frutos de pulpa blanca la fase II de crecimiento fue 7 d menor que en los de pulpa rosa. Uno de los cambios fisiológicos importantes es el incremento significativo de etileno a 99 DDF, lo cual se relaciona con la acumulación de azúcares y el agrietamiento de los frutos. Otro aspecto relevante es la disminución en el contenido de vitamina C que coincide con este agrietamiento. El inicio de la acumulación de azúcares ocurre a partir de los 85 DDF, lo que sugiere el inicio de la maduración.

LITERATURA CITADA

Agustí, M. 2004. Fruticultura. Ediciones Mundi Prensa. 491 p.
 AOAC. 1990. Official Methods of Analysis of AOAC.1 15th ed. Vol. II. Association of Official Analytical Chemist. Washington, D.C. USA. pp: 829-830.

Cuadro 3. Contenido de vitamina C en frutos de ilama con pulpa blanca y rosa durante su desarrollo.

Table 3. Vitamin C content in white and pink pulp ilama fruits during development.

DDF [†]	Vitamina C (mg 100 g ⁻¹)	
	Pulpa Blanca	Pulpa Rosa
43	5.9 c	6.2 d
57	7.3 b	7.2 c
64	7.7 b	7.3 c
71	7.7 b	7.7 c
78	8.2 b	8.2 b
85	10.0 a	11.8 a
92	9.5 a	9.1 b
99	8.2 b	8.6 b
DMS	1.18	

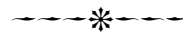
Medias con distinta letra en la columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). n=4.

[†]DDF=días después de la floración.

CONCLUSIONS

White and pink pulp ilama fruits have a double sigmoid growth pattern lasting 99 daf, including the first stage of maturation. Phase I is characterized by rapid growth; during this phase the fruits reach 74 and 76% of their total weight: 336.6 g (white pulp) and 402.7 g (pink pulp). Growth phase II of white pulp fruit was 7 d shorter than that of pink pulp fruit. One of the important physiological changes is the significant increase in ethylene 99 daf, which is related to accumulation of sugars and cracking of the fruit. Another relevant aspect is the decrease in the vitamin C content, which coincides with this cracking. Initial sugar accumulation occurs 85 daf, suggesting that this is when maturation begins.

End of the English version—



Chávez, P. E. M., L. Marroquín A., E. Cedillo P., y E. Cervera B. 1999. Estudio etnobotánico de Ilama (*Annona diversifolia* Saff.) en Tejupilco, Estado de México. In: II Congreso Internacional de Anonáceas. Marroquín, L., M. Perez, M. Martínez (eds). Tuxtla Gutierrez, Chiapas. Octubre 26, 27 y 28. México. pp:118-124
 Chalmers, D.J., and B. van den Ende. 1977. The relation between seed and fruit development in peach (*Prunus persica* L.). Annals Bot. 41:707-714.
 Cowan K. A., R. Cripps, E. Riching, and N. Taylor. 2001. Fruit size: towards and understanding of the metabolic control of fruit growth using avocado as model system. *Physiol. Plantarum* 111: 127-136.
 Estrada, C. A., y L.M. Marroquín A. 1995. Caracterización de ilama (*Annona diversifolia* Saff.) en Salitre Palmerillos, Ametepc, Edo. de México. Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort. 38:197-200.

- FAO. 1992. Annonas (*Annona* spp.). In: Cultivos Marginados. Otra Perspectiva de 1942. J. E. Hernández., B., J. León. (eds). Producción y Protección Vegetal No. 26. Roma, Italia. pp: 83-90.
- Franco-Mora, O., C. Saucedo V., J. Jasso M., y E. García V. 2001. Patrón de crecimiento y grado de polinización en guanábana. In: Primer Congreso Nacional de Anonáceas. Marroquín A L M (ed). Universidad Autónoma Chapingo, 11 a 13 Octubre. UACH. 118 p.
- González- Trujano, M.E., V. M., Briones, C. A., Navarrete, y L. Rocha, 2006. La epilepsia y la ilama. *Epilepsia* 47(11):1810-1817.
- Hubbard, N. L., D. M. Pharr, and S. C. Huber. 1990. Role of sucrose phosphate synthase in sucrose biosynthesis in ripening bananas and its relationship to the respiratory climacteric. *Plant Physiology* 94:201-208.
- Lee, S. K., and A. A. Kader. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biol. Technol.* 20(3): 207-220.
- León, J. 1989. Compendio de Agronomía Tropical. Tomo II. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José, Costa Rica. pp:274-285.
- Morton, F. J. 1987. Fruits of Warm Climates. Ed. Media Incorporated. Miami Florida. USA. pp: 83-85.
- Murata, T. 1997. Citrus. In: Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits. Mitra S. CAB International. New York, USA. pp: 21-47
- Nakasone, H. Y., and E. R. Paull. 1998. Tropical Fruits. CAB International. New York. USA. 445 p.
- Nelson, N. J. 1944. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of the glucose. *J. Biol. Chem.* 153:375-380.
- Otero-Sánchez, M. A., R. A. E., Becerril, M. A., Castillo, A.C., Michel, T. R., Ariza, A. A., Barrios, y M. A. Rebolledo, 2006. Producción de ilama *Annona diversifolia* Saff. en el trópico seco de Guerrero. *Rev. Chapingo Serie Horticultura* 12(2):137-143.
- Pal D. K., and P. S. Kumar. 1995. Changes in the physico-chemical and biochemical compositions of custard apple (*Annona squamosa* L.) fruits during growth, development and ripening. *J. Hort. Sci.* 70 (4):569-572.
- Pennington, T. D., and J. Sarunkhan. 1968. Arboles Tropicales de Mexico: Manual para la Identificación de las Principales Especies. Universidad Nacional Autónoma de Mexico, Mexico, D. F. Instituto de Biología. 521 p.
- Salveit, M. E., and A.R. Sharaf. 1992. Ethanol inhibits ripening of tomato fruit harvested at various degrees of ripeness without affecting subsequent quality. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117 (5):793-798.
- SAS Institute Inc. 1990. SAS/STAT Guide for Personal Computers. Version 6.0 SAS Institute N.C. USA. 890 p.
- Somogy, M. 1952. Notes on sugar determinations. *J. Biol. Chem.* 195: 19-23.
- Witham, H. F., D. F. Blaydes, and R. M. Devlin. 1971. Experiments in Plant Physiology. Van Nostrand Reinhold C. New York, USA. 245 p.
- Worrell, D. B., C. C. M. Sean, and D. J. Huber (1994) Growth, maturation and ripening of soursop (*Annona muricata* L.) fruit. *Sci. Hort.* 57:7-15.
- Yonemoto, Y. J., and S. Nakao. 1993. Fruits growth curves of chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) from different blooming time in a plastic house and fruit qualities. *Jap. J. Trop. Agric.* 37:7-8. Abstract.