

DESARROLLO DEL FRUTO E INDICES DE COSECHA DE LA CARAMBOLA (*Averrhoa carambola* L.) PRODUCIDA EN EL PIEDEMONTA AMAZONICO COLOMBIANO¹

Development and harvest index of carambola fruit (*Averrhoa carambola* L.) from Colombian Amazonian foothills¹

Dioned Victoria González², María Soledad Hernández³, Aníbal Herrera⁴, Jaime A. Barrera³, Orlando Martínez⁵ y Daniel Paez⁶

RESUMEN

La carambola (*Averrhoa carambola* L.) es una planta originaria de Asia Tropical. Existen los tipos ácidos y los dulces, dentro de los cuales se encuentra un considerable número de variedades. El fruto representa un potencial como línea de producción agroindustrial debido a las características fisicoquímicas de la pulpa y a la multiplicidad de usos tanto fresco como procesado. El presente trabajo tuvo como objetivo caracterizar una variedad ácida de carambola adaptada a las condiciones del Piedemonte Amazónico, a través de análisis físicos, químicos y fisiológicos desde el cuajamiento hasta la madurez comercial, en función de estudiar el crecimiento y desarrollo del fruto y determinar los parámetros apropiados para indicar el momento óptimo de cosecha. El crecimiento del fruto mostró un patrón sigmoidal simple, con tres estados de crecimiento. El tamaño, peso, porcentaje de pulpa, pH y relación sólidos solubles totales: acidez total titulable incrementaron durante el desarrollo mientras el porcentaje de corteza, la firmeza y la acidez decrecieron. A partir del día 74 se iniciaron los cambios de color. La variación del comportamiento en el tiempo de las variables físicas y químicas fue explicada con un alto ajuste por modelos polinomiales y exponenciales, con R² entre 0,95 y 0,99. La intensidad respiratoria del fruto sugirió un posible patrón No Climaterico. Se encontró que los sólidos solubles, el color y la firmeza constituyen índices de cosecha adecuados.

Palabras claves: crecimiento; caracterización física, fisiológica, química.

SUMMARY

The carambola (*Averrhoa carambola* L.) is a plant from Tropical Asia. There exist the acids and sweets types, in which it finds a lot of varieties. The fruit represents a potential as a agro industrial production line due to the pulp's physical-chemical characteristics and the multiplicity of uses both fresh as

processed. The present work had as objective to characterize an acid variety of carambola adapted to the Amazonian foothills conditions, through physical, chemical and physiological analyses from the setting to the commercial maturity, in function of study of fruit's growth and development and to determine the appropriate parameters to indicate the harvest moment. Fruit growth has showed a single sigmoidal pattern, with three stages of growth. Size, weight, pulp percentage, pH and total soluble solids : acidity ratio increased during the development while skin percentage, flesh firmness and acidity decreased. After 74 day the color break started. The variation-behavior in the time of the physical and chemical variables was explaining with a high adjustment for polynomial and exponential models, with R-square between 0,95 and 0,99. The fruit respiration intensity suggested a possible non-climacteric pattern. Total soluble solids content, color and firmness were adequate harvest indexes.

Key words: Growth; physical, physiological and chemical characterization.

INTRODUCCION

La carambola (*Averrhoa carambola* Linn.) pertenece a la familia *Oxalidaceae*, es proveniente del Centro de origen de Asia Tropical (Galán, 1991). Se encuentra presente en numerosos lugares de los trópicos y subtropicos, razón por la cual recibe una gran variedad de nombres vernáculos, entre los que se encuentran star fruit, belimbing, five corner, ma fueng y caramboleiro (Morton, 1987; Nakasone y Paull, 1998). En Colombia, aunque no en grandes cultivos, se tiene una amplia distribución en los departamentos de Valle, Córdoba, Antioquia, Caldas, Quindío y Tolima, y en la región de la Amazonía (Villegas, 1998). Existen dos grupos de carambola, los tipos ácidos y los tipos dulces. El fruto es una baya carnosa, de forma ovoide a elipsoidal, de 5-25 cm de largo, 3-10 cm de diámetro, y peso entre 90 y 315 g, generalmente presenta cinco aristas longitudinales que le dotan de una típica sección transversal en forma de estrella, su color en estado maduro varía entre el verde-amarillo y el naranja (Crane, 1993; George y Nissen,

¹ Convenio Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI-Universidad de la Amazonía. Cofinanciación PRONATTA

² Ingeniera Agrónoma, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá

³ Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas-SINCHI, Bogotá

⁴ Profesor asistente, Departamento de Fisiología Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá

⁵ Profesor, Universidad de los Andes

⁶ Universidad de la Amazonía. Leticia, Amazonas.

1994; Holman, 1998; Nakasone y Paull, 1998). Una de las principales características de la carambola de cara a su explotación comercial es su excelente productividad. La mejor calidad de fruto y altos rendimientos se obtienen bajo ambientes tropicales; dependiendo de la edad y de las condiciones ambientales y de manejo, el rendimiento puede variar entre los 45 a 500 kg.árbol⁻¹año⁻¹ (Chattopadhyay *et al.*, 1996; Crane, 1993; George y Nissen, 1994). La madurez del fruto de carambola es determinada por el desarrollo del color y porcentaje de azúcar. La recolección se basa en los requerimientos del mercado, cuyo mínimo estado es el verde maduro, también son cosechados en cambio de color (verde a amarillo) con el fin de reducir la susceptibilidad a daños mecánicos durante el manejo, ya que es un fruto delicado que debe ser manipulado con mucho cuidado. La carambola es un fruto con buenos contenidos nutricionales y multiplicidad de usos tanto en fresco como en procesado, es utilizado para la elaboración de encurtidos, salsas, vinos, gelatinas, jugos, pickles y licores, puede además ser enlatado, conservado o secado; este además está asociado con algunas propiedades medicinales (Crane, 1993; Galán, 1991; Morton, 1987; Nakasone y Paull, 1998).

El objetivo del presente estudio fue describir el comportamiento de diferentes variables físicas, químicas y fisiológicas a través del desarrollo del fruto de la carambola variedad ácida del Piedemonte Amazónico y proponer índices de cosecha confiables.

MATERIALES Y METODOS

Material vegetal

Los frutos fueron recolectados en el municipio de Florencia (Caquetá), corregimiento El Caraño. Las características climáticas de la zona durante el desarrollo del estudio se presentan en la Tabla 1.

El trabajo se realizó en tres huertos próximos entre sí, los cuales contaban con 2, 3 y 5 árboles, en estos árboles se marcaron 700 frutos, para la marcación se utilizó cinta reflectiva y se tomó como parámetro el diámetro longitudinal, señalando frutos que se encontraran alrededor de 7 mm. La unidad de muestreo la constituyeron 12 frutos en los estados iniciales y posteriormente 10; dicha muestra se dividía en tres grupos para la medición de la intensidad respiratoria. Los datos físicos no destructivos se obtenían de la medición de 10 frutos. Posteriormente la muestra se dividía en dos grupos, de los cuales uno se destinaba para peso seco y el otro para los análisis químicos. Las muestras se recolectaron con una periodicidad de seis días y fueron transportadas del campo al laboratorio de Nutrición y Análisis de Alimentos del Convenio SINCHI – UNIAMAZONIA (23,7 °C), en una nevera de icopor con papel periódico húmedo, con el fin de evitar el daño y la deshidratación de los frutos.

Tabla 1. Comportamiento de las variables climáticas registradas en el municipio de Florencia (Caquetá) durante el periodo de estudio.

Meses	Precipitación ^a (mm)	Temperatura ^b (°C)	Humedad relativa (%)	Brillo solar (horas)	Nubosidad (octas)
Octubre	382,6 (23) ^a	25,7 (19,8-33,6) ^b	83	127,6	5
Noviembre	305,7 (19) ^a	26,4 (21,33,8) ^b	82	133,5*	4
Diciembre	109,8 (15) ^a	26,8 (21,4-33,8) ^b	81	163,0*	5
Enero	81,8 (10) ^a	27,4 (20,2-35,4) ^a	74	173,8	4

a. Precipitación mensual total (días de lluvia). b. Temperatura del aire media mensual (T mínima – T máxima). *Promedio de 1984-98. Fuente: IDEAM (2000).

Caracterización física, química y fisiológica

Las técnicas y métodos de laboratorio empleados para la obtención de los parámetros físicos, químicos y fisiológicos de los frutos evaluados se presentan en la tabla 2.

Análisis y procesamiento de información

Los datos obtenidos por muestreo fueron promediados. El desarrollo del fruto fue dividido en tres estados, sobre la base de cambios en tamaño y peso. Con los valores de los puntos clave en las etapas de desarrollo, se calculó la velocidad (tasa) de crecimiento -VC- ($A_2 - A_1 / T_2 - T_1$, donde A es la variable y T el tiempo – cm, g ó ml/día) y la tasa de crecimiento relativo -TCR- ($\ln A_2 / T_2 - T_1$); asimismo, para cada uno de los muestreos se calculó el Porcentaje de Humedad (%H= $((PF-PS)*100)/PF$).

Los datos fueron sometidos a Análisis de Regresión (polinomial y exponencial), por medio del programa SAS (6.12),

posteriormente, sobre la base del R², CME, significancia y sencillez, se seleccionaron los modelos que más se ajustaron al comportamiento de cada variable, a partir de los cuales se construyeron las gráficas, teniendo como excepción las gráficas de respiración, ácidos, vitamina C y azúcares las cuales, se elaboraron con los datos originales. Los modelos, tanto polinomiales como exponenciales, se estimaron sin intercepto y se analizaron paulatinamente desde los de primer grado hasta los de quinto grado; las expresiones generales para las formas polinomial y exponencial son $Y = a+bx+cx^2+dx^3+ex^4+fx^5$ y $Y = \text{Exp}(a+bx+cx^2+dx^3+ex^4+fx^5)$ respectivamente. De igual manera, se realizó un Análisis de Correlación entre los promedios de las diferentes variables a lo largo del ciclo de desarrollo.

Con el objeto de definir los parámetros de cosecha, se realizaron Análisis de Varianza para los nueve últimos muestreos (estado final de desarrollo), los cuales permitieron determinar las variables que presentan diferencias significativas en el tiempo; posteriormente y teniendo en cuenta que un índice de cosecha debe ser fácilmente evaluable, se seleccionaron algunas

Tabla 2. Métodos utilizados en la caracterización fisicoquímica y fisiológica del fruto de carambola variedad ácida del Piedemonte amazónico.

Determinación	Abreviatura	Método
Diámetro Longitudinal	DL	Calibrador Vernier (nonio) ¹
Diámetro Transversal	DT	Calibrador Vernier (nonio) ¹
Peso Fresco	PF	Balanza analítica 0.001g
Volumen	VL	Método de Arquímedes
Peso Seco	PS	Estufa 75 °C, Balanza analítica 0.001g
Firmeza		Penetrómetro BERTUZZI ²
Color		RHS Colour Chart
Acidez	ATT ³	Titulación con NaOH 0.1 N. (TITRINO DMS 716) ¹
pH.	PH ³	Potenciómetro (TITRINO DMS 716) ^{1,2}
Sólidos Solubles (%)	SS ³	Refractómetro ATAGO ^{1,2}
Azúcares Totales y Reductores	AT y AR	Lane-Eynon ^{1,2}
Acidos	AC	Cromatografía líquida de alta eficiencia
Respiración	IR	Volumétrico con respirómetro de Warbur ^{1,2}

1. Hernández y Galvis (1994), 2. Hernández *et al.* (1994). 3. Estas pruebas están contenidas en las Normas ISO para la realización de pruebas químicas en frutas y hortalizas: ISO 750:1998-Determinación de acidez titulable, ISO 1842:1991-Determinación de pH e ISO 2173:1978-Determinación de sólidos solubles por el método refractométrico.

variables a las cuales se les aplicó la prueba del Rango Múltiple de Duncan.

Con el fin de facilitar la identificación de los diferentes estados de madurez se construyó una carta de índices de color, tomando como referencia la RHS Colour Chart.

RESULTADOS Y DISCUSION

Desarrollo del fruto

Entre 4 y 5 días después de la apertura de la flor se observa el fruto cuajado con una longitud alrededor de los 7 mm, el cuajado en carambola se define como el estado en que los pétalos han caído, comienza la expansión y cambia el color del ovario desde blanquecino a verde brillante (Galán, 1991). El desarrollo del fruto de carambola presentó tres estados de crecimiento, uno inicial (E_1) comprendido entre el día 1 (fruto de 7 mm de DL) y el día 54, uno intermedio que se extendió del día 55 al día 74 (E_2) y un estado final (E_3) que transcurrió del día 75 al día 123. El fruto presentó un crecimiento de tipo sigmoidal simple, el cual se exhibe en *Annonas* (*Annona* sp.), guayabas (*Psidium*, *Eugenia*, *Syzygium*), mango (*Mangifera indica*), fresa (*Fragaria xananassa*), arazá (*Eugenia stipitata*) y copoazú (*Theobroma grandiflorum*), los dos últimos estudiados bajo condiciones de la región amazónica (Hernández y Galvis, 1993 y 1994; Nakasone y Paull, 1998; Rogiers y Knowles, 1997). En la tabla 3 se exponen los modelos que más se ajustaron al comportamiento de los parámetros de crecimiento y desarrollo evaluados en la carambola. El periodo de desarrollo del fruto de carambola tomó 83 días (12 semanas) de fruto cuajado (7 mm.) a fruto maduro (verde-amarillo). La duración del ciclo de desarrollo de la carambola

es muy variable, tomando de floración a madurez de 8 a 18 semanas, dependiendo del cultivar y de las condiciones ecológicas y climáticas (Galán, 1991; George y Nissen, 1994).

Caracterización física

Diámetro Longitudinal (DL) y Transversal (DT): En E_1 se presentó un incremento marcado en el DL y DT (Figura 1A), alcanzándose valores promedio de 6,43 cm y 4,14 cm, respectivamente, en el día 54; durante este periodo se presentó una VC de 0,11 cm/día para el DL y de 0,07 cm/día para el DT; en este estado el fruto inició (día 1 a 21) su crecimiento a una tasa de 0,08 cm/día para el DL y 0,05 cm/día para el DT, posteriormente (día 21 a 54) la tasa se hizo mayor, siendo esta de 0,12 cm/día para el DL y 0,09 cm/día para el DT. En E_2 el fruto alcanzó valores promedio de 7,03 cm y 4,20 cm en el día 74, creciendo a una tasa de 0,03 cm/día para el DL y 0,003 cm/día para el DT. Durante E_3 se presentó un pequeño incremento, tendencia mencionada por Cubillos e Isaza (1999), después del cual estas variables se estabilizaron. El crecimiento del fruto de carambola se efectúa inicialmente por división celular hasta que alcanza 12-15 mm de longitud, y posteriormente el crecimiento es resultado de alargamiento celular fundamentalmente en el mesocarpio. El tamaño del fruto incrementa continuamente durante toda la fase de crecimiento (Chattopadhyay *et al.*, 1996; Galán, 1991).

En E_3 se presentó un DL promedio (90 frutos) de 7.54 cm con una desviación estándar de 0,76 (DL entre 5,9 y 9,35 cm) y un DT promedio de 4,56 cm con una desviación estándar de 0,54 (DT entre 3,48 y 5,82 cm); Cubillos e Isaza (1999) y Narain (1987) también encontraron altos valores de desviación estándar, estos en conjunto con la amplitud de los rangos muestran la alta variabilidad en tamaño y forma que exhiben los frutos. Las dimensiones

Tabla 3. Modelos polinomiales y exponenciales para la predicción de las variables físicas, químicas y fisiológicas del fruto de carambola durante su desarrollo.

V	M	R ²	CME	CONSTANTES				
				b	c	d	e	f
DL	Pol	0,99	0,085	0,146528	-0,000686			
DT	Pol	0,99	0,056	0,086928	-0,000399			
PF	Pol	0,99	7,667	-0,327362	0,021507	-0,000121		
PS	Pol	0,98	0,078	-0,016869*	0,001249	-7,072E-6		
VL	Ex	0,99	0,066	0,077929	-0,000362			
Firm.	Pol	0,99	0,137	0,157338	-0,001070			
%P	Pol	0,99	2,995	3,075593	-0,037386	0,000146		
%C	Pol	0,99	3,819	0,366888	-0,013346	0,000208	-1,473e-6	3,891848E-9
%Se	Pol	0,95	0,232	0,384401	-0,012015	0,000127	-4,43E-7	
SS	Pol	0,99	0,100	0,288921	-0,008406	9,4492E-5	-3,36E-7	
PH	Pol	0,99	0,053	0,089274	-0,001243	5,753E-6		
ATT	Pol	0,99	0,006	0,076161	-0,001918	1,7326E-5	-5,326975E-8	
IM	Ex	0,99	0,031	0,025572				

V: Variables; M: Modelo; Pol: Polinomial; Ex: Exponencial; CME: Cuadrado Medio del Error; Las constantes son altamente significativas (0.01) a excepción de * (0.05), respectivamente. Firm.: Firmeza.

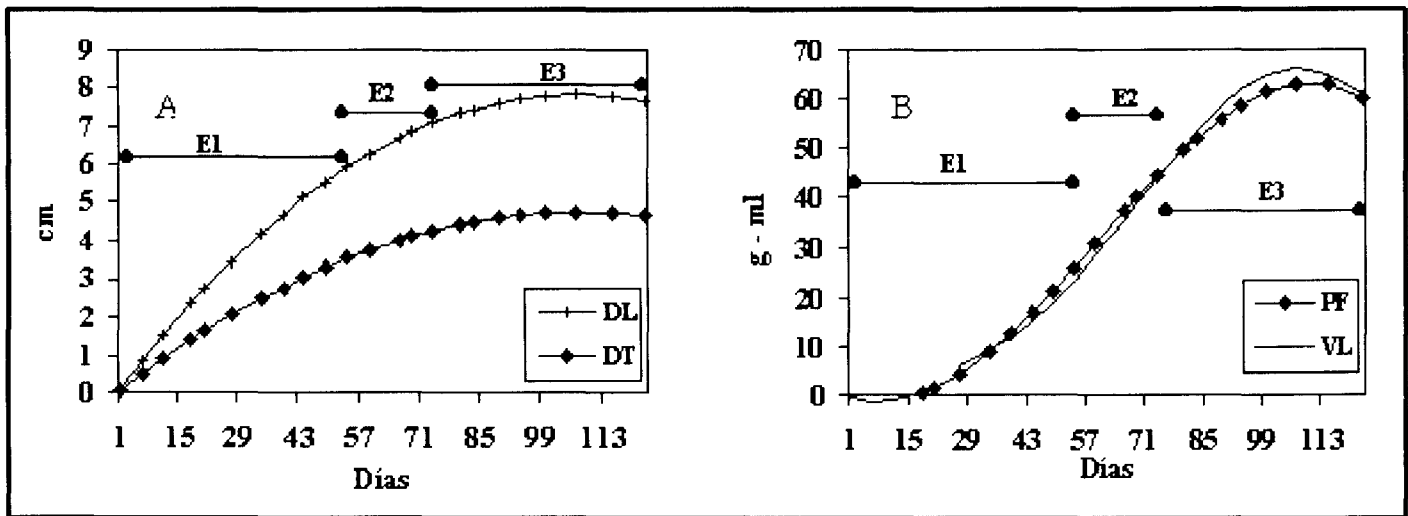


Figura 1. Comportamiento del diámetro longitudinal y transversal, peso fresco y volumen durante el ciclo de desarrollo del fruto de carambola.

que se registraron se encuentran dentro de los extremos inferiores de los valores citados en la literatura mundial (DL entre 5-25 cm y DT entre 3-10 cm) (Crane, 1993; Galán, 1991; Holman, 1998; Morton, 1987; Villegas, 1998). El DL y el DT presentaron una correlación significativa de 0,99, otras correlaciones se pueden apreciar en la Tabla 4.

Peso Fresco y Volumen: El comportamiento del PF y el VL exhibió una tendencia similar a la del DL y DT (Figura 1B), presentándose un incremento progresivo en E₁. En el día 54 los frutos alcanzaron valores promedio de 30,42 g y 33,86 ml; durante este estado el PF mostró una VC de 0,57 g/día, en los primeros días (día

1 a 21) el fruto creció a una tasa de 0,07 g/día y posteriormente (día 22 a 54) la VC se incrementó a 0,88 g/día.

A lo largo de E₂ los frutos continuaron creciendo a una tasa de 0,68 g/día, llegando el día 74 a 44,13 g (45,88 ml). Durante E₃ estas variables presentaron un incremento, tendencia reportada por Cubillos e Isaza (1999), a partir del cual se estabilizaron. Durante la fase de expansión celular se produce una acumulación de carbono (fotoasimilados), agua y minerales. En E₃ se presentó un PF promedio (90 frutos) de 56,37 g, con una desviación estándar de 13,41 (PF entre 27,63 g y 86 g) y un VL promedio de 57,42 ml, con una desviación estándar de 13,74 (VL entre 27,8 ml y 90 ml). Los valores de PF registrados se encuentran por debajo de los cita-

dos por Galán (1991) como deseables para la comercialización en fresco (pesos entre 100 y 300 g). Las correlaciones entre DL-PF y PF-PS fueron 0,94 y 0,99 respectivamente (Tabla 4).

Porcentaje de Humedad: El %H presentó valores entre 83,71% y 94,73%, el comportamiento de los promedios de %H presentó una tendencia a la disminución, partiendo de 90% en E_1 (con un %H de 88% del día 1 al día 21 y de 92% del día 22 al día 54) y estabilizándose alrededor de 94% a partir de E_2 ; en el ámbito mundial se reportan porcentajes mayores al 89% (Cubillos e Isaza, 1999; Galán, 1991; Lamberts, 1990; Morton, 1987). El tejido parenquimático, característico de las bayas carnosas, acumula gran cantidad de agua, lo cual hace a la fruta muy succulenta. El %H presentó una correlación de 0,87 con el DL y el DT (Tabla 4).

Peso Seco: El PS presentó una tendencia al aumento progresivo en E_1 y E_2 (Figura 2A). En E_1 el fruto creció a una tasa de 0,33 g/día, en este estado el fruto inicialmente (día 1 a 21) registró una VC de 0,01 g/día, la cual se incrementó a 0,05 g/día posteriormente (día 22 a 54); a lo largo de E_2 el fruto creció a una tasa de 0,04 g/día. En E_3 esta variable exhibió un pequeño incremento, después del cual se estabilizó, razón por la cual en el transcurso de los estados 1 y 2, el fruto acumuló el máximo de fotosintetizados. La correlación entre PF-PS fue 0,99 (Tabla 4).

Tasas de Crecimiento Relativo: Las TCR del DL, DT, PF y PS, decrecieron durante E_1 y E_2 , presentándose los mayores valores en E_1 , posteriormente en E_3 se presentó un nuevo incremento en las tasas, evidenciándose de esta manera un primer periodo crítico de crecimiento desde el inicio del desarrollo del fruto hasta el día 66, y un segundo periodo crítico de crecimiento alrededor de los días 83 y 89 (Figura 2B).

Porcentaje de pulpa, corteza y semilla: Las proporciones de pulpa y corteza presentaron una relación inversa. (Figura 3A). En E_1 se observó un incremento marcado en el %P hasta el día 44, a partir del cual continuó aumentando hasta llegar a un nivel de estabilización el día 66 (E_2). El %C recíprocamente exhibió una tendencia a la disminución hasta el día 66, siendo esta más notoria hasta el día 44. El día 44 (E_1) los %P y %C alcanzaron valores de 75,96% y 22,23% respectivamente y hacia el día 66 (E_2) llegaron a 81,62% y 17,24%.

Durante el ciclo de desarrollo el %S no sobrepasó el 5% (E_1) y mostró valores menores al 1% en la etapa final (E_3). El número de semillas por fruto varió entre uno y cinco, siendo el más frecuente uno. Del día 66 al día 123 se presentó un %P promedio de 81,60% y un %C promedio de 17,59%, los cuales corresponden a un 99,19% de parte comestible. La correlación entre DL y %P fue 0,92 (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis de Correlación para las variables físicas, químicas y fisiológicas del fruto de carambola variedad ácida del Piedemonte amazónico.

Variables	r	Variables	r	Variables	R	Variables	R
DT-DL	0,99**	DT-%H	0,87**	PS-ATT	-0,89**	AT-PF	0,87**
DL-PF	0,94**	DT-%P	0,92**	IR-%H	-0,85**	AT-SS	0,92**
DL-VL	0,97**	DT-%C	-0,92**	IR-%C	0,96**	AR-PF	0,85**
DL-%H	0,87**	DT-PS	0,92**	IR-%P	-0,97**	AR-SS	0,92**
DL-PS	0,93**	PF-VL	0,99**	IR-TDL	0,77**	AR-AT	0,99**
DL-%P	0,92**	PF-PS	0,99**	IR-TDT	0,84**	IM-SS	0,94**
DL-%C	-0,92**	PF-ATT	-0,92**	IR-TPF	0,86**	IM-PH	0,83**
DL-ATT	-0,86**	VL-PS	0,96**	IR-TPS	0,90**	IM-ATT	-0,83**
DT-PF	0,93**	VL-IR	-0,86**	SS-PH	0,79**	IM-Firmeza	-0,83**
DT-VL	0,95**	VL-ATT	-0,92**	SS-Firmeza	-0,82**	IM-AT	0,84**

** Los coeficientes de correlación presentados fueron altamente significativos (0,01).

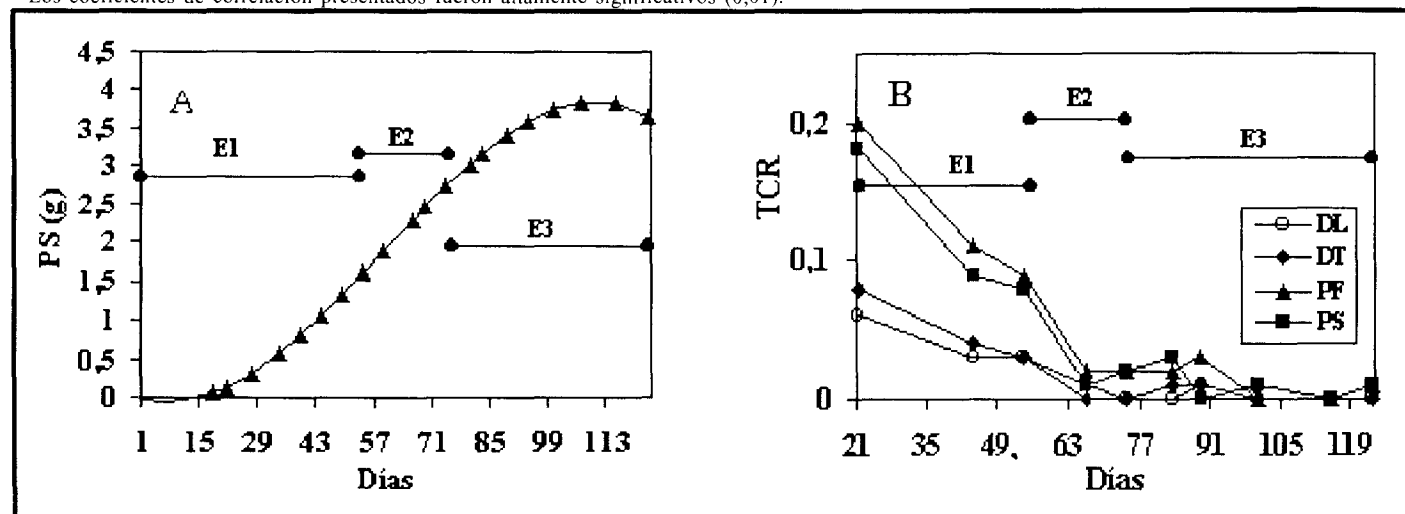


Figura 2. Comportamiento del peso seco y las tasas de crecimiento relativo durante el desarrollo del fruto de carambola.

Firmeza: La firmeza mostró una disminución marcada a partir del día 94 (E_3), el día 123 el 40% de los frutos presentó rajaduras en la corteza. En el proceso de maduración ocurren cambios en el grosor de la pared celular como resultado de la disolución de la lámina media; simultáneamente la permeabilidad del plasmalema se modifica, disminuyendo su selectividad, y aumentan los espacios intercelulares, los cuales se llenan de agua y gases, fenómeno que contribuye al ablandamiento de los tejidos (Hobson, 1993; Pantástico, 1979). Chin *et al.* (1999) encontraron que los frutos de carambola (cv. B10) contienen diferentes hidrolasas, las cuales aumentan su actividad durante el periodo de sazón, fase en la cual las pectinas y hemicelulosas son modificadas diferencialmente (Figura 3B).

Forma y Color: El fruto presentó una forma ovoide a elipsoidal variada y exhibió cinco (4-6) aristas redondeadas longitudinales que lo dotan de una típica sección transversal en forma de estrella, algunas veces modificada. Durante E_1 los frutos mostraron un color amarillo-verde, a partir del día 34 se apreció una semilla de color blanco, con un arilo transparente. En E_2 el fruto presentó un color amarillo-verde y la semilla un color crema con tonalidades

café, esta se encontraba rodeada por un arilo amarillo translúcido. En E_3 se apreciaron los mayores cambios en la coloración, el fruto cambió de un color amarillo-verde a uno pardo-naranja, presentándose 5 coloraciones (Tabla 5). El día 123 el 100% de los frutos presentaron un índice 5 de coloración y de estos el 60% presentó manchas pardas en la corteza.

Los cambios en color se atribuyen a la degradación de la clorofila causada por los cambios en pH, como consecuencia de la fuga de ácidos orgánicos al exterior de la vacuola, el desarrollo de procesos oxidativos y la acción de las clorofilasas. La pérdida de la clorofila va asociada a la síntesis o al desenmascaramiento de pigmentos, la conversión de cloroplastos a cromoplastos se acompaña de la síntesis de una o varias clases de pigmentos, normalmente antocianos o carotenoides (Barceló *et al.*, 1984; Hobson, 1993; Wills *et al.*, 1984). Gross *et al.* (1983), encontraron en frutos de carambola (cv. Golden Star) un contenido total de carotenoides de 22 microg/g. En la carambola el aumento de la concentración de azúcares y el desarrollo del color de la corteza parecen estar coordinados, con lo cual se constituyen en buenos indicadores de cosecha (Holman, 1998; O'Hare, 1993; O'Hare, 1997).

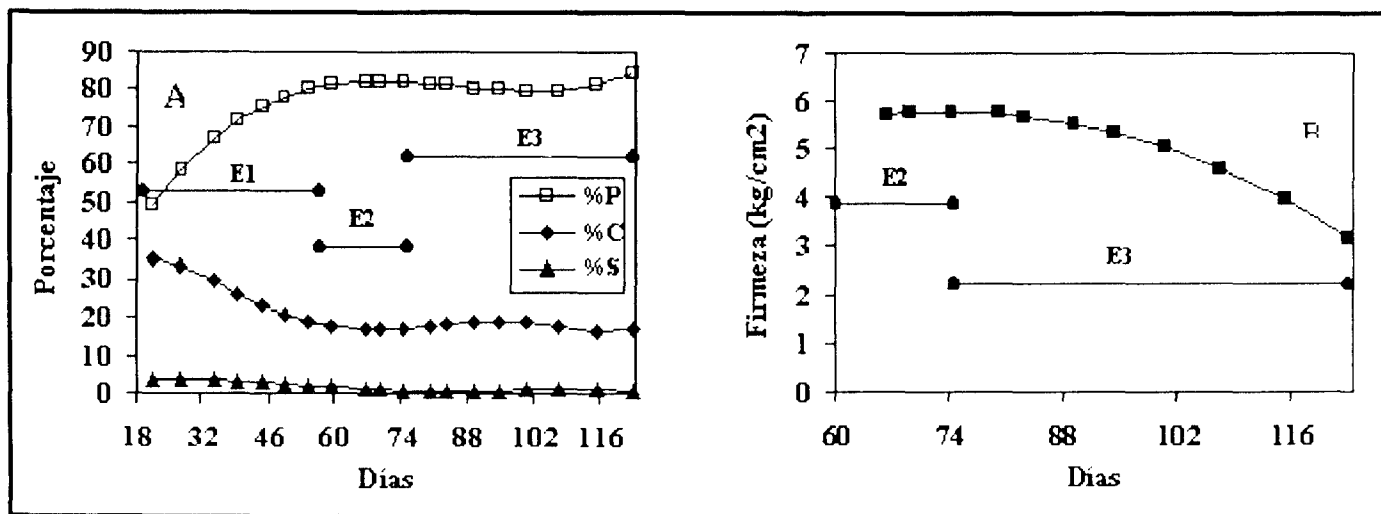


Figura 3. Comportamiento de los porcentajes de pulpa, corteza y semilla y del nivel de firmeza del fruto de carambola.

Tabla 5. Carta de colores propuesta para el estado tres -E3- de desarrollo del fruto de carambola variedad ácida del Piedemonte amazónico.

Índice	Color*	Descripción
1	Amarillo-verde 1	Color verde claro algo amarillo
2	Amarillo-verde 2	Color amarillo verdoso
3	Pardo-naranja 1	Color amarillo opaco
4	Pardo-naranja 2	Color naranja opaco poco intenso
5	Pardo-naranja 3	Color naranja opaco intenso, fruto completamente coloreado

*Para la definición del color se tomó como referencia la RHS Colour Chart, donde los colores más aproximados fueron yellow-green group 146 y 163 y greyed-orange group 163.

Compuestos Volátiles: Durante E_3 el fruto desarrolló su aroma y sabor característico. El sabor de la carambola varía desde muy ácido con poco azúcar a muy dulce con poca acidez. El fruto posee un perfume fuerte al igual que el membrillo y presenta un aroma a ácido oxálico más o menos pronunciado; algunos autores reportan

distintamente que el sabor y aroma son similares al de la manzana, albaricoque o uva (Nagy *et al.*, 1991; Wilson *et al.*, 1985). MacLeod y Ames (1990), encontraron 178 compuestos volátiles en el fruto de carambola (cv. B10), dentro de los cuales los ésteres (57) y lactonas (9) fueron componentes significativos del aroma.

Caracterización fisiológica

Intensidad Respiratoria: Inicialmente los frutos presentaron altas tasas respiratorias, las cuales disminuyeron progresivamente a través de E₁ (Figura 4), del día 18 al día 21 se presentó una disminución marcada de 443,74 a 136,55 mgCO₂kg⁻¹h⁻¹; posteriormente, continuó la tendencia al decrecimiento hasta el día 54 (25,23 mgCO₂kg⁻¹h⁻¹).

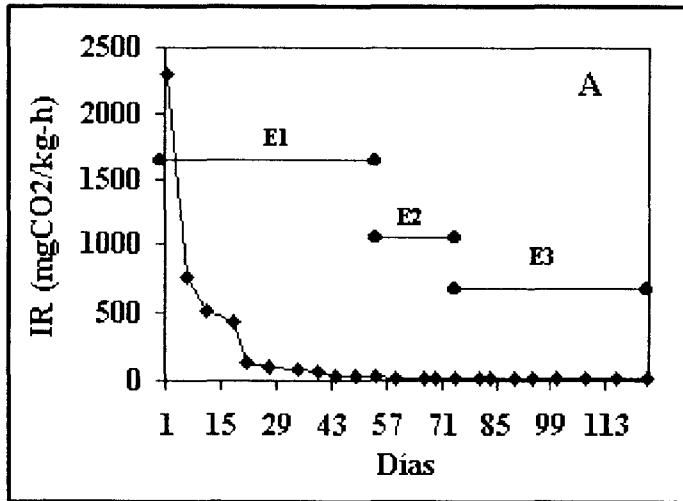


Figura 4. Comportamiento de la Intensidad Respiratoria durante el desarrollo del fruto de carambola.

Al inicio del ciclo de desarrollo se presenta una alta degradación de sustancias por medio de reacciones de óxido-reducción, asegurándose de esta manera un suministro adecuado de la energía necesaria para los procesos de desarrollo y mantenimiento celular (Barceló et al., 1984). A partir del día 54 (E₂) y hasta el final del ciclo (E₃) se presentaron valores bajos (8,70 a 22,33 mgCO₂kg⁻¹h⁻¹) sin evidencia de una crisis climaterica. Al final del ciclo de desarrollo se apreció una tendencia al incremento, dicho aumento es resultado de los procesos de degradación, descomposición microbial y senescencia de tejidos (O'Hare, 1993). La Prueba del

rango Múltiple de Duncan no mostró diferencias significativas para la IR en E₃, sugiriendo de esta manera un patrón respiratorio tipo No Climaterico, patrón mencionado por Kader (1992); Nakasone y Paull (1998) y O'Hare (1993) para carambola, el cual también se presenta en Litchi (*Litchi chinensis*), Piña (*Ananas comosus*), Limón (*Citrus limonia*) y Cocona (*Solanum sesilliflorum*) (Hobson, 1993; Nakasone y Paull, 1998; Wills et al., 1984). La carambola se clasifica como un fruto de baja respiración, debido a que se localiza en el rango de respiración menor a 35 mgCO₂kg⁻¹h⁻¹ (Nakasone y Paull, 1998). Las correlaciones entre IR-%P, IR-TCR(PF) e IR-TCR(PS) fueron -0,97, 0,86 y 0,90 respectivamente (Tabla 4).

Caracterización química

Sólidos Solubles y Azúcares: Durante E₁ y E₂ los SS (°Brix) no aumentaron (Figura 5A), a partir de E₃ su valor mostró incremento progresivo, alcanzando su máximo al final de este estado (Tabla 5), este comportamiento ha sido reportado también por Cubillos e Isaza (1999) y Wang et al. (1997) para frutos recolectados en diferentes estados de coloración. Nakasone y Paull (1998), mencionan que algunos cultivares muestran cambios en los SST y ATT durante la sazón. Por su parte los azúcares aumentaron durante E₂ y E₃ (Figura 5B), presentándose la mayor concentración a lo largo de E₃, estado en el cual se encontraron los máximos valores con 4,679% de azúcares totales y 4,631% de azúcares reductores; Cubillos e Isaza (1999) encontraron valores de 2,06% para AT y 2,31% para AR en frutos maduros de la variedad ácida, por su parte Chattopadhyay et al. (1996) mencionan contenidos de 3,10% de AT en frutos maduros de carambola. A partir del día 107 el contenido de azúcares disminuyó. Una vez cosechados los frutos de carambola la concentración de azúcares permanece relativamente constante (O'Hare, 1997). Según Wills et al. (1984), en frutos No Climatericos la acumulación de azúcares no procede de la degradación de reservas amiláceas sino de la savia (fotoasimilados), se conoce también que en el género *Averrhoa* los azúcares son transportados como sacarosa (C DFA, s.f.). Las correlaciones entre SS-Firmeza, AT-SS, AR-SS, AT-AR, AT-PF, AR-PF y AT-IR fueron 0,82, 0,92, 0,92, 0,99, 0,87, 0,85 y -0,80 respectivamente (Tabla 4).

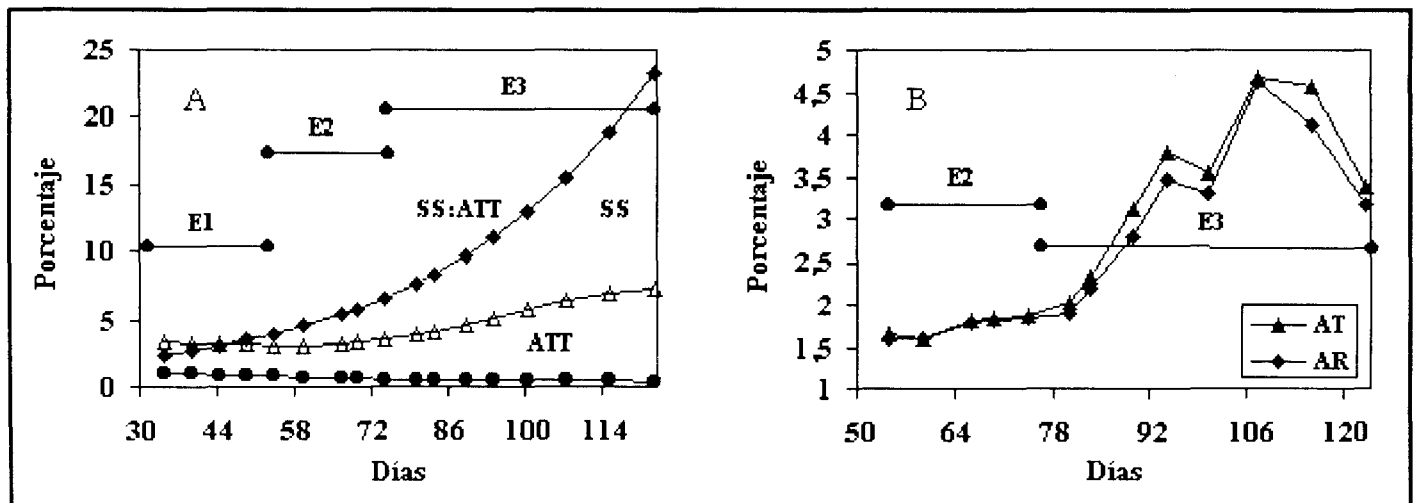


Figura 5. Comportamiento de los sólidos solubles, acidez total titulable, relación sólidos solubles: acidez total titulable y azúcares del fruto de carambola.

Acidez Total Titulable y pH: La ATT presentó una disminución durante el desarrollo del fruto (Figura 5A-6A). La ATT expresada como porcentaje de ácido oxálico osciló entre 1,02% (E_1) y 0,35% (E_3), siendo menor al 1% durante E_3 . Los ácidos orgánicos son una importante fuente de energía respiratoria en la célula vegetal, las células del fruto son capaces de usar tales ácidos como sustrato respiratorio y/o convertirlos en azúcares, razón por la cual los niveles de ácidos orgánicos descienden durante la maduración (Hobson, 1993; Wills et al., 1984). Las correlaciones entre DL-ATT, DT-ATT, PF-ATT y PS-ATT fueron $-0,86$, $-0,84$, $-0,92$ y $-0,89$ respectivamente (Tabla 4). El pH (Figura 6A) durante el desarrollo del fruto presentó valores entre 1,72 (E_2) y 2,71 (E_3). Los valores altos de pH contrastaron con valores bajos de acidez, los puntos de contraste más notorios se presentaron en los días 54 (E_1), 74, 80 y 89 (E_3). Cubillos e Isaza (1999) y Wang *et al.* (1997) mencionan que el pH incrementa durante la sazón de la carambola. La abundancia de ácidos orgánicos hace que el pH de los zumos de frutos sea a veces muy bajo, como es el caso del limón o tomate, cuyos pH son 2 y 4, respectivamente (Barceló *et al.*, 1984). La correlación entre pH y SS fue 0,79 (Tabla 4).

Acidos: El día 54 (E_2) solo se registró ácido oxálico, durante E_3 se detectaron los ácidos oxálico, málico y succínico; el áci-

do málico se registró a partir del día 83 y el ácido succínico a partir del día 100 (Figura 6). El ácido oxálico constituyó el ácido predominante con valores entre 0,33% (día 123) y 1,31% (día 54), con relación a los ácidos málico y succínico cuyas concentraciones variaron entre 0,06 (día 89) y 0,14% (día 107) y 0,07 (día 123) y 0,13 (día 100) respectivamente. El ácido oxálico presentó una disminución durante el desarrollo del fruto, la cual coincidió con la tendencia mostrada por la ATT. La correlación entre la ATT y el ácido oxálico fue de 0,87, asimismo la correlación entre este ácido y el PF fue de $-0,87$. El ácido málico presentó un aumento del día 80 al día 107, posteriormente decreció. El ácido succínico exhibió un decrecimiento desde el día en el cual se detectó hasta el final del ciclo de desarrollo. Morton (1987) menciona los ácidos oxálico, tartárico, cítrico, málico, ketoglutarico, succínico y fumarico como ácidos presentes en el fruto de carambola. El ácido oxálico se encuentra principalmente en estado libre y dependiendo del cultivar se han encontrado contenidos entre 0,039 y 0,679 mg (Morton, 1987). En saskatoon (*Amelanchier alnifolia*) los ácidos contribuyen al sabor, son importantes en el procesamiento industrial, afectan las propiedades de la pectina e influyen en el color de los pigmentos (Rogiers y Knowles, 1997).

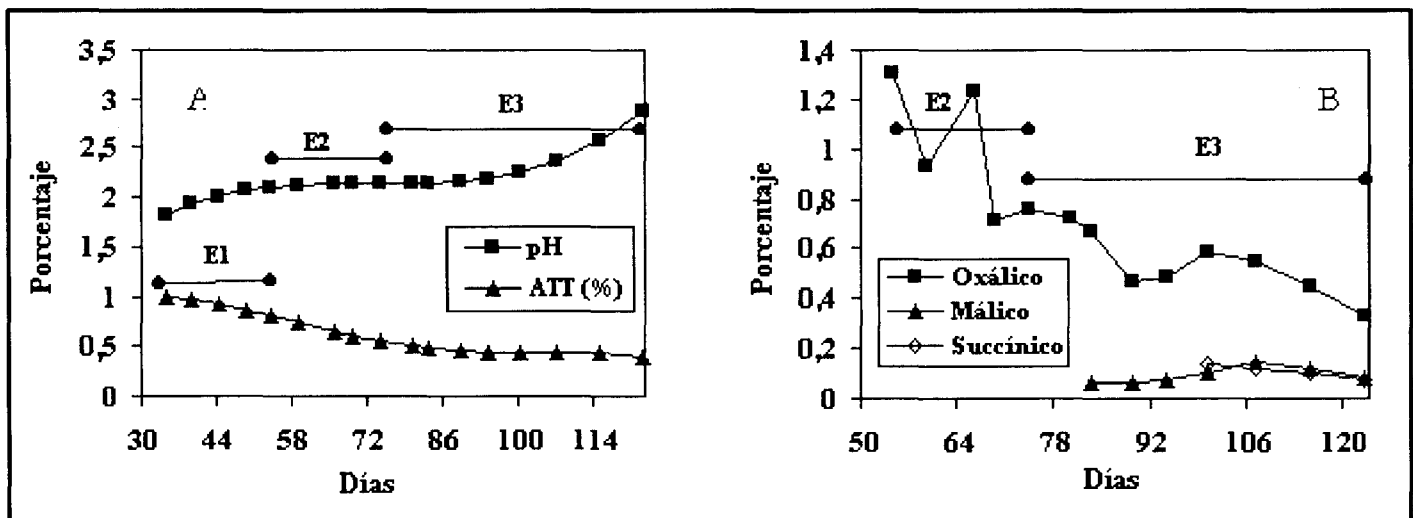


Figura 6. Comportamiento de la acidez total titulable, pH y de los ácidos en el fruto de carambola.

Vitamina C: El ácido ascórbico se detectó a partir del día 89 (E_3) (Figura 8), las concentraciones presentaron una tendencia al aumento con valores entre 0,048 mg/100g (día 89) y 1,061 mg/100g (día 123), este comportamiento fue reportado por Barrera *et al.* (2000) para cocona (*Solanum sesilliflorum*). Cubillos e Isaza encontraron contenidos de vitamina C de 14,30 mg/100g, 16,91 mg/100g y 12,82 mg/100g para frutos de carambola verdes, píntones y maduros respectivamente.

Otros autores citan contenidos entre 14 mg y 90 mg de ácido ascórbico en 100 gramos de porción comestible (Morton, 1987; Lamberts, 1990; Galán, 1991).

Relación de Madurez: La relación SS:ATT presentó un aumento progresivo a partir del día 66 (E_2) y hasta el final del ciclo de desarrollo (día 123 - E_3), pasando de 4,58 a 20,06 (Figura 5A). Este comportamiento coincide con lo reportado por Chattopadhyay *et al.* (1996) y Cubillos e Isaza (1999), quienes registraron un valor de 9,87 para frutos maduros de carambola. El comportamiento de

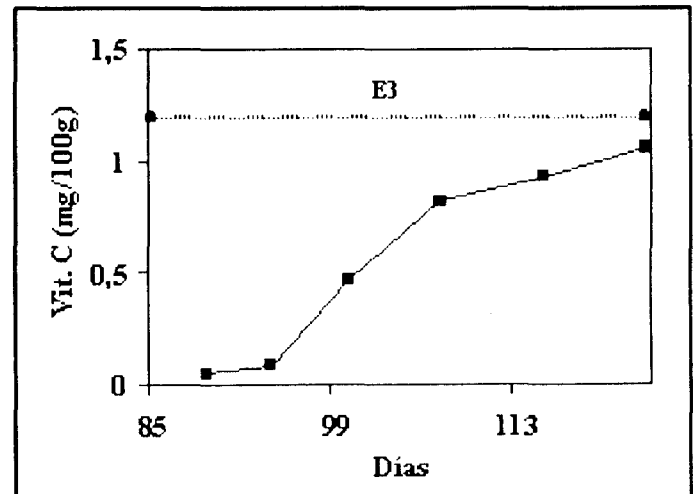


Figura 7. Comportamiento de la vitamina C en el fruto de carambola.

la relación de madurez es resultado del aumento de sólidos solubles y azúcares (Figura 5) y decremento en el contenido de ácidos durante la maduración (Figura 6). La relación SS:ATT refleja el balance dulce/ácido de los frutos y es usado como un criterio para evaluar la calidad de los frutos. En el sur de Florida se encontró que los frutos de carambola palatables tienen una relación SS:ATT menor a 14,1 (con un óptimo en 12,6), mientras los frutos no palatables fueron asociados con una baja ATT con valores superiores a 16,4, en contraste, en Australia se prefieren frutos con baja ATT y un alta relación SS:ATT (O'Hare, 1997). La correlación entre Relación de madurez-Firmeza fue -0,83 (Tabla 4).

La Firmeza, los Sólidos Solubles y el Color presentaron diferencias altamente significativas a través del tiempo en el trans-

curso de E₃ (Tabla 6), asimismo la prueba del rango múltiple de Duncan (Tabla 7) mostró diferencias entre medias del estado 3; en consecuencia estos parámetros resultan buenos índices para la recolección oportuna de la carambola. La concentración de azúcares en combinación con el color pueden ser utilizados como índices de madurez en carambola (O'Hare, 1997). Por el contrario en la carambola las dimensiones del fruto y el peso no son válidos como criterios de recolección, ya que estos varían (Galán, 1991). La calidad organoléptica óptima de la carambola es muy subjetiva y la preferencia del consumidor puede variar desde frutos verdes ácidos a frutos dulces completamente coloreados, por consiguiente, el estado de cosecha depende en gran parte del mercado objetivo (O'Hare, 1997).

Tabla 6. Análisis de varianza para variables físicas, químicas y fisiológicas del fruto de carambola en último estado de desarrollo - E₃ - (día 74 a día 123)

Variable	Fuente de variación	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Significancia
Diámetro longitudinal (DL)	Día	8	4,7900	NS
Diámetro transversal (DT)	Día	8	0,1501	NS
Peso fresco (PS)	Día	8	0,9627	**
Volumen (VL)	Día	8	53,6082	**
Peso seco (PS)	Día	8	0,9345	NS
Porcentaje de pulpa (%P)	Día	8	0,4019	NS
Porcentaje de corteza (%C)	Día	8	489,0779	NS
Porcentaje de semilla (%Se)	Día	8	512,6900	**
Firmeza	Día	8	4,7344	**
Sólidos solubles (SST)	Día	8	4,0873	**
Ph	Día	8	0,3966	NS
Acidez total titulable (ATT)	Día	8	5,2209	**
Intensidad respiratoria (IR)	Día	8	0,0156	*
Color	Día	8	22,4000	**

Tabla 7. Prueba múltiple de Duncan (0.05) para los índices de cosecha en el fruto de carambola variedad ácida del Piedemonte amazónico.

Día	Firmeza	SS	ATT	IR	Color
74	6,16 a	3,2 e	0,44 bdc	22,03 a	1,2 d
80	4,86 bdc	3,5 e	0,51 ba	17,80 ba	1,3 d
83	5,37 bac	3,9 de	0,39 edf	20,47 a	2,2 c
89	5,39 bac	4,9 dc	0,35 f	14,66 bac	2,2 c
94	5,72 ba	5,3 c	0,50 bac	15,10 bac	2,9 c
100	5,17 bac	5,8 bc	0,52 a	8,704 c	4,1 b
107	4,63 dc	6,8 ba	0,43 edc	12,84 bc	4,6, ba
115	4,02 d	7,3 ba	0,44 bdc	11,58 bc	4,7 ba
123	3,07 e	7,0 a	0,36 ef	16,44 ba	5 a

Para el mercado y embalaje de la carambola variedad ácida del Piedemonte Amazónico se recomienda la recolección entre los días 80 y 94, puesto que los valores de firmeza (Figura 3B) presentados en este periodo favorecen el manejo postcosecha. Así mismo, la recolección de frutos con coloraciones correspondientes a los Índices 2 y 3, garantiza el desarrollo de una coloración pardo-naranja más llamativa. No obstante, la recolección en dicho estado incide de manera negativa en el contenido final de SS, para este periodo sus valores se situaron entre 3,5 y 5,3, algo menores que los máximos alcanzados por el fruto si se deja sazonar en el árbol (6,8 a 7,3). Para la agroindustria se recomienda que el fruto alcance valores de SS cercanos a 7%, asociados al desarrollo de coloración pardo-naranja (2-3), Índices 4 y 5. Durante el periodo comprendido entre los días 80 y 94 los valores de relación de madurez oscilaron entre 6,83 y 13,87 respectivamente.

LITERATURA CITADA

- BARCELO, J.; G. NICOLAS; B. SABATER y R. SANCHEZ. *Fisiología Vegetal*. Ediciones Pirámide, S. A. Madrid. p. 425-437. 1984
- BARRERA, J.A.; E. OVIEDO; D. PAEZ y M.S. HERNANDEZ. *Memorias seminario "Tecnologías de recolección y manejo postcosecha de frutas amazónicas con potencial económico y comercial en la Amazonía colombiana"*. PRONATTA – Instituto SINCHI – UNIAMAZONIA. Florencia-Caquetá. 2000
- CDFA PLANT INDUSTRY. *Family Name: Averrhoaceae*. <http://www.cdfa.ca.gov.s.f>
- CHATTOPADHYAY, P.K.; AMITAVA-GHOSH y GHOSH-A. Some aspects of developmental physiology of carambola fruit. *Horticultural Journal* 9 (1): 17-20. 1996
- CHIN-LIENGHONG; Z.M. ALI; H. LAZAN y L.H. CHIN. Cell wall modifications, degrading enzymes and softening of carambola fruit during ripening. *Journal of Experimental Botany* 50 (335): 767-775. 1999
- CRANE, J.H. *Commercialization of carambola, atemoya, and other tropical fruits in south Florida*. En: J. JANICK y J. E. SIMON (eds.), *New crops*. Wiley, New York. <http://www.newcrop.hort.purdue.edu>. 1993
- CUBILLOS, C. y H. ISAZA. Obtención de un producto glaseado y un producto osmodeshidratado de carambola (*Averrhoa carambola* L.) en el Piedemonte Caquetense. Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería de Alimentos. Santafé de Bogotá. p. 1-12, 30-34 y 54-60. 1999
- GALAN, S. *La carambola y su cultivo*. FAO. Roma. p. 11-83. 1991
- GEORGE, A.P. y R.J. NISSEN. Carambola. p. 206-211 En: B. SCHAFFER y P.C. ANDERSEN (ed.), *Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops, Vol. II: Sub-Tropical and Tropical Crops*. CRC Press, Inc. Florida. 1994
- GROSS, J.; R. IKAN y G. ECKHARDT. Carotenoids of the fruit of *Averrhoa carambola*. *Phytochemistry* 22 (6): 1479-81. 1983
- HERNANDEZ, M.S. y J.A. GALVIS. Análisis del crecimiento del fruto y determinación del momento óptimo de cosecha del Arazá. *Colombia Amazónica*, Vol. 6 (2): 107-121. 1993
- HERNANDEZ, M.S. y J.A. GALVIS. Análisis del crecimiento del fruto y determinación del momento óptimo de cosecha del Copoazú. *Colombia Amazónica*, Vol. 7 (1-2): 157-167. 1994
- HOBSON, G.E. Maduración del fruto. p. 463-478 En: AZCONBIETO, J. y M. TALON (ed.), *Fisiología y Bioquímica Vegetal*. Mc-Graw-Hill-Interamericana. Madrid. 1993
- HOLMAN, R. *StarFruit*. Sheridan Fruit Company, Inc. Portland, OR. <http://www.sheridanfruit.com>. 1998.
- KADER, A.A. Postharvest Biology and Technology: An Overview. *Postharvest Technology of Horticultural Crops*, second edition. University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. p. 16, 21-28. 1992
- LAMBERTS, M. y J.H. CRANE. *Tropical Fruits*. En: JANICK J. y J.E. SIMON (eds.), *Advances in new crops*. Timber Press, Portland, OR. <http://www.newcrop.hort.purdue.edu>. 1990
- MACLEOD, G. y J.M. AMES. Volatile components of starfruit. *Phytochemistry* 29 (1): 165-172. 1990
- MORTON, J. *Carambola*. In: *Fruits of warm climates*. Miami, FL. <http://www.newcrop.hort.purdue.edu>. 1987
- NAGY, S.; S. BARROS; R. CARTER y S.C. CHIN. Production and characterization of carambola essence. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 103: 277-279. 1991
- NAKASONE, H.Y. y R.E. PAULL. *Tropical Fruits*. CAB International. Biddles Ltd, Guildford y King's Lynn. London. p. 37-43, 57, 133-147, 157, 187-188, 218. 1998
- NARAIN, N.; P.S. BORA; H.J. HOLSCHUH; M.A. DA SILVA y C.M.G. DOS SANTOS. Caracterização física dos frutos da caramboleira oriundos do tropico semi-árido da Paraíba. p. 205-208 En: *Memorias IX Congresso Brasileiro de Fruticultura*, Campinas, 22 a 27 de novembro de 1987, ANAIS Vol. I. Sociedade Brasileira de Fruticultura. 1987
- O'HARE, T.J. Postharvest physiology and storage of carambola (starfruit): a review. *Postharvest Biology and Technology* 2 (4): 257-267. 1993
- O'HARE, T.J. Carambola. p. 295-307 En S.K. MITRA (ed.), *Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits*. CAB International. Biddles Ltd, Guildford y King's Lynn. London. 1997
- PANTASTICO, E.R. *Fisiología de la Postrecolección; Manejo y Utilización de Frutas y Hortalizas Tropicales y Subtropicales*. Compañía Editorial Continental S.A. México. 537. p. 1979
- ROGIERS, S.Y. y R. KNOWLES. Physical and chemical changes during growth, maturation, and ripening of saskatoon (*Amelanchier alnifolia*) fruit. *Can. J. Bot.* 75: 1215-1225. 1997
- VILLEGAS, B.E. *El Carambolo (Averrhoa carambola)*. En: *Especies Vegetales Promisorias; Seminario regional*. Universidad Nacional de Medellín; Facultad de Ciencias Agropecuarias; Departamento de Agronomía; Grupo de Especies Vegetales Promisorias. Medellín. 1998
- WANG-WEIJA; WANG-WUCHANG; WEN-MINGCHE; W.J. WANG; W.C. WANG; M.C. WEN; CHEN-YUNGWU (ed.) y CHANG-LINREN. Effect of the line and maturity on the quality of carambola juice for processing. *Special Publication Taichung District Agricultural Improvement Station* (38): 197-205. 1997
- WILSON, C.W., P.E. SHAW y R.J. KNIGHT. Volatile constituents of carambola (*Averrhoa carambola* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 33 (Mar./Apr.): 199-201. 1985
- WILLS, R.H.; T.H. LEE; W.B. MCGLASSON; E.G. HALL y D. GRAHAM. *Fisiología y manipulación de frutas y hortalizas postrecolección*. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza (España). p. 3-41. 1984