

**DETERMINACIÓN DEL MOMENTO ÓPTIMO DE COSECHA DE
COPOAZÚ (*Theobroma grandiflorum* Widd ex Spreng Schum)
EN LA AMAZONIA OCCIDENTAL COLOMBIANA**

CLAUDIA ESTELLA HERNÁNDEZ LONDOÑO
Ingeniera Química

Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de Magíster en
Ciencias Biología, Área de énfasis Biodiversidad y Conservación

Directora
María Soledad Hernández Gómez
Bióloga, Ph.D.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
BOGOTÁ
2010

**DETERMINACIÓN DEL MOMENTO ÓPTIMO DE COSECHA DE
COPOAZÚ (*Theobroma grandiflorum* Widd ex Spreng Schum)
EN LA AMAZONIA OCCIDENTAL COLOMBIANA**

CLAUDIA ESTELLA HERNÁNDEZ LONDOÑO
Ingeniera Química

El presente trabajo fue desarrollado dentro del marco del proyecto
“Evaluación de parámetros de cosecha, fisiología y tratamientos poscosecha y
agroindustria de frutas Amazónicas con potencial para el desarrollo de cadenas
frutícolas en la Amazonia Suroccidental Colombiana” de la alianza ASOHECA,
Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI y la Universidad de la
Amazonía

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
BOGOTÁ
2010

Tesista: Claudia Estella Hernández Londoño
cehernandez@uniamazonia.edu.co
Universidad de la Amazonía

Dirección: María Soledad Hernández Gómez
shernandez@sinchi.org.co
Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI
Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos-ICTA-Universidad
Nacional de Colombia

Estadística: Orlando Martínez Wilches
omartinez@uniandes.edu.co
Universidad de los Andes

CONTENIDO

RESUMEN	9
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN.....	13
OBJETIVOS.....	17
OBJETIVO GENERAL	17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1. REVISIÓN DE LITERATURA	18
1.1 ANTECEDENTES	18
1.1.1 Trabajos realizados en Copoazú en Colombia.	19
1.1.2 Trabajos realizados en copoazú en Brasil.....	20
1.1.3. Trabajos realizados en copoazú en otros países.	21
1.1.4 Trabajos en crecimiento y desarrollo de otros frutos amazónicos.....	21
1.1.5 Reportes de momento de cosecha para copoazú.	22
1.1.6 Determinación de momento óptimo de cosecha de copoazú en San José del Guaviare.....	22
1.2 MARCO TEÓRICO O CONCEPTUAL.....	23
1.2.1 El Copoazú.	23
1.2.2 Crecimiento y desarrollo del fruto.....	27
1.2.3 Respiración.	28
1.2.4 Maduración del fruto.	30
1.2.5 Momento óptimo de cosecha.....	32
1.2.6 Cambios en la composición del fruto.	34
1.2.7 Senescencia de los frutos.....	35
2. METODOLOGÍA.....	36
2.1 LOCALIZACIÓN	36
2.2 MATERIAL VEGETAL	36
2.3 RASGOS DE CALIDAD DEL FRUTO	37
2.4 ATRIBUTOS DE CALIDAD BIOQUÍMICOS	39
2.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y MODELOS DE CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL FRUTO	40

3. RESULTADOS	41
3.1 CRECIMIENTO DEL FRUTO	41
3.2 RESPIRACIÓN	43
3.3 COLOR.....	44
3.4 OTROS RASGOS DE CALIDAD	46
3.5 ATRIBUTOS DE CALIDAD BIOQUÍMICOS.....	47
3.5.1 Azúcares reductores y totales.	47
3.5.2 Ácidos orgánicos.	49
4. DISCUSIÓN.....	51
4.1 CRECIMIENTO DEL FRUTO	51
4.2 RESPIRACIÓN	53
4.3 COLOR.....	57
4.4 OTROS RASGOS DE CALIDAD	59
4.5 ATRIBUTOS DE CALIDAD BIOQUÍMICOS.....	60
4.6 ANÁLISIS MULTIVARIADO DEL CRECIMIENTO DEL FRUTO DE COPOAZÚ	62
5. CONCLUSIONES.....	66
6. RECOMENDACIONES	68
BIBLIOGRAFÍA	69

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características fisiológicas, físicas y químicas del fruto de copoazú en el momento de cosecha (240 días de desarrollo) para el departamento del Guaviare.	23
Tabla 2. Composición química de la pulpa del fruto de Copoazú (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	25
Tabla 3. Datos estación meteorológica Macagual Abril a Julio de 2007	36
Tabla 4. Modelos logísticos ajustados para las diferentes variables vs. tiempo de crecimiento para frutos de Copoazú seleccionados de acuerdo al cuadrado medio.	41
Tabla 5. Matriz de correlación de Pearson de las variables analizadas durante el estado E3 de crecimiento del fruto de Copoazú	64

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura. 1. Diámetros longitudinal y ecuatorial, peso fresco y peso seco durante el crecimiento del fruto de Copoazú	42
Figura. 2. Intensidad respiratoria durante el crecimiento del fruto de Copoazú; Intensidad respiratoria durante E3; Intensidad respiratoria y producción de etileno posterior a la abscisión natural del fruto.	43
Figura. 3. Cambios de color durante la fase E3 del desarrollo del fruto de Copoazú en Corteza; Pulpa y Semilla.	45
Figura. 4. ATT (% Ac. Cítrico) y pH y SST e Índice de madurez durante la fase E3 del desarrollo del fruto de Copoazú.	46
Figura. 5. Azúcares, Ácidos orgánicos y Ácido ascórbico durante la fase E3 del desarrollo del fruto de Copoazú.	48

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ANOVA: Análisis de varianza

ATT: Acidez total titulable

C*: Croma

CG : Cromatografía de gases

DDC: Días después del cuajado del fruto

DL : Diámetro longitudinal del fruto

DT : Diámetro transversal del fruto

E : Etapas de desarrollo del fruto

H* : Ángulo Hué

HPLC : High Performance Liquid Chromatography

IM : Índice de madurez

IR : Intensidad respiratoria

L* : Luminosidad

PF : Peso fresco del fruto

PS : Peso seco del fruto

R² : Coeficiente de correlación

SST : Sólidos solubles totales

TCD : Detector de conductividad térmica

UV-VIS : Ultravioleta-Luz visible

RESUMEN

Se realizó un estudio de los cambios ocurridos durante el desarrollo del fruto de Copoazú, en condiciones de la Amazonía occidental colombiana, departamento de Caquetá, desde el cuajado del fruto hasta la madurez de consumo. El estudio se realizó a una altitud de 332 msnm, con temperatura promedio anual de 25,03°C. Se evaluaron cambios físicos del fruto como diámetros longitudinal y transversal, peso fresco y seco, cambios de color, pH, acidez total titulable (ATT), sólidos solubles totales (SST), intensidad respiratoria (IR) y cambios bioquímicos (ácidos orgánicos, azúcares y ácido ascórbico). El periodo transcurrido entre el cuajado y la madurez fisiológica fue de 117 días. Se identificaron tres etapas en el crecimiento sigmoideal simple de los frutos: la primera de división celular (E1), la segunda de máximo crecimiento (E2), que corresponde a la expansión celular, y una etapa final de estabilización del crecimiento (E3). El fruto de Copoazú alcanzó su completo desarrollo cuando mostró cambios en el color de la pulpa ($H^*=97^\circ$), que coincidieron con unos SST alrededor de 5,7°Brix que, junto con los días después del cuajado, constituyen buenos índices de cosecha. El patrón respiratorio del Copoazú fue climatérico, con un pico de actividad respiratoria de 156,24 mgCO₂.kg⁻¹.h⁻¹ que se presentó 124 días después del cuajado; no fue detectado etileno. Se observó que el ángulo Hué disminuye a medida que se incrementa el peso fresco, y que la ATT, los SST y el índice de madurez (IM) aumentan a medida que se acerca la madurez de consumo. Todos los azúcares, los ácidos orgánicos y el ácido ascórbico se incrementaron durante el estado E3,

alcanzando sus máximos valores entre los 139 y los 140 días después del cuajado. El ácido predominante en el Copoazú fue el ácido cítrico y el azúcar predominante fue la sacarosa. El fruto presentó después de la abscisión un incremento en la intensidad respiratoria y una emisión tardía de etileno, aunque no en todos los frutos. En general, todas las variables fisicoquímicas y bioquímicas descendieron después de la abscisión natural.

Palabras clave: *Theobroma grandiflorum*, Acidez, Intensidad respiratoria, Índices de cosecha, Modelos de crecimiento del fruto, Azúcares, Ácidos orgánicos, Ácido ascórbico.

ABSTRACT

This study focuses on the changes occurred during the development of the fruit of Copoazú, in conditions of the Colombian West Amazonian, department of Caquetá. All stages of the fruit, from set fruit to ripening, were observed and recorded at altitude of 332 masl, and an annual average temperature of 25,03°C. This project evaluated fruit physical changes such as longitudinal and equatorial diameters, fresh and dry weight, color changes, pH, total titratable acidity (TTA), total soluble solids (TSS), respiration rate (RI) and biochemical changes (organic acids, sugars and ascorbic acid). Time elapsed between the fruit set and the maturity of the Copoazú fruits was 117 days. Three stages of sigmoid type in the fruits' growth were recognized: cellular division (E1), maximum growth (E2), which corresponds to the cellular expansion, and the final stage of growth stabilization (E3). The Copoazú fruit reached its full development when showed changes of pulp color ($H^*=97^\circ$) that coincided with TSS around of 5,7°Brix, which constitutes a good harvest index alongside days after fruit set. The respiratory pattern of the Copoazú fruit was climaterical type, with a peak of 156,24 mgCO₂.kg⁻¹.h⁻¹ 124 days after fruit set; ethylene was not detected. The observations concluded that Hue angle decrease when fresh weight increases, and TTA, TSS and the maturity index (MI) increase when ripening was near. Organic acids, sugars and ascorbic acid exhibited a increase towards the final stage (E3), reaching the highest values between 139 and 140 days after fruit set. The citric acid was the predominant acid in Copoazú fruit and the sucrose was the predominant sugar. After abscission the

fruit showed an increase in respiration rate and a delayed release of ethylene, although not all fruits emit ethylene. In general all the physicochemical and biochemical variables declined after abscission.

Key words: *Theobroma grandiflorum*, Acidity, Respiration rate, Harvest index, Fruit growth modeling, Sugars, Organic acids, Ascorbic acid.

INTRODUCCIÓN

Entre las especies vegetales que enriquecen la región Amazónica se encuentra el Copoazú (*Theobroma grandiflorum* Willd. ex Spreng Schum.). El nombre específico *grandiflorum*, significa “flores grandes” enfatizando el tamaño de la flor del Copoazú, ya que su fruto es el mayor entre los del género *Theobroma* (Carazo y Palma, 1999). Considerado como uno de los mejores de la flora amazónica su importancia económica radica en el fruto, que se destaca por la diversidad de usos y por las características organolépticas de su pulpa, reuniendo óptimas condiciones de aprovechamiento en la industria de los alimentos (Souza *et al.*, 1998). La pulpa de este cacao posee un sabor ácido agradable, muy apreciado para la preparación a gran escala de refrescos, sorbetes, mermeladas, compotas y dulces; de sus semillas es posible extraer chocolate blanco de excelente calidad (Venturieri y Lopes, 1988).

Los cultivos establecidos son incipientes, por lo que los datos sobre productividad de este cultivo son muy específicos. Para los cultivos de Copoazú del antiguo centro de investigaciones Macagual, hoy granja de la Universidad de la Amazonía, Rojas *et al.* (1998) reportaron para los árboles más viejos una producción promedio por cosecha de 10,2 frutos por árbol, con un peso promedio por fruto de 896 g. Guerrero *et al.* (2007) reportaron para cinco fenotipos de Copoazú en la amazonía occidental colombiana una producción media anual por árbol que oscila entre los 26 y los 54 kg, con un valor promedio de 40,5 kg, para estos mismos

fenotipos el peso por fruto varía entre los 865,5 y los 1800 g, con un valor promedio 1338,4 g.

Como se verá en los antecedentes, países como Brasil en los que también se encuentra el Copoazú, nos llevan casi 40 años en investigación y algunos países donde no se encuentra esta especie ya han empezado a interesarse por las propiedades de este cacao nativo. En Colombia el Instituto Amazónico de investigaciones científicas SINCHI, en convenio con otras instituciones como la Universidad Nacional, es la entidad que más ha trabajado en el tema del Copoazú. Para el departamento del Guaviare, Hernández y Galvis (1994) desarrollaron un estudio en crecimiento y momento de cosecha de este fruto, trabajo que fue ampliado por Hernández *et al.* (2006). En este mismo departamento el Instituto SINCHI estableció, desde finales de los ochentas, un banco de germoplasma *ex situ* del género *Theobroma* como una estrategia de soporte para sustitución de cultivos ilícitos en la región (Vargas y Argüelles, 2000). Moreno *et al.* (2004) realizó la caracterización molecular de este banco de germoplasma, trabajo que fue ampliado más adelante empleando otra técnica (Moreno *et al.*, 2006).

Los trabajos ya mencionados y otros nuevos fueron compilados en el documento más completo, hasta el momento, para cacaos nativos (copoazú y maraco) en Colombia: “*Theobroma*” que contempla, además de lo ya mencionado, la caracterización del crecimiento y desarrollo vegetativo (Barrera *et al.*, 2006b), el

aprovechamiento integral de la semilla (Barrera *et al.*, 2006a) y otras aplicaciones (Carrillo *et al.*, 2006).

A pesar que ya existen varios trabajos en tecnología poscosecha, sólo desde la precosecha es posible garantizar la calidad del fruto. El momento óptimo de cosecha desempeña un papel muy importante en esta tarea, pues no sólo permite garantizar la calidad de los diversos productos que se elaboren a partir del fruto, sino que contribuye a reducir las pérdidas que se presentan por un sistema de cosecha inadecuado.

Teniendo en cuenta que la calidad de los frutos está relacionada con el momento óptimo de cosecha. Los indicadores de recolección apropiados para el fruto de copoazú, tales como la intensidad respiratoria, el color de la corteza y la pulpa, la acidez titulable, son indispensables para minimizar las pérdidas que se ocasionan con el sistema actual (abscisión natural en la madurez fisiológica). Así lo presenta Souza *et al.* (1998): la recolección de los frutos días después de que caen conduce a la pérdida de condiciones de la pulpa para ser aprovechada, por lo que los estudios de maduración, cosecha y poscosecha hacen parte de las mejoras que requiere el sistema productivo.

En el trabajo realizado por Hernández y Galvis (1994) en condiciones del departamento del Guaviare (amazonía oriental colombiana), algunas de las metodologías empleadas, como el método de Warburg o la apreciación visual de

color, hoy pueden ser reemplazadas por técnicas e instrumentos que ofrecen mayor precisión. La cromatografía de gases, por ejemplo, permite cuantificar mucho mejor CO₂ y etileno, y el colorímetro permite describir el color a través de valores. Así mismo, es importante señalar que en el mencionado trabajo no se determinaron ácidos orgánicos, ácido ascórbico y etileno, que son variables muy importantes para la determinación del momento óptimo de cosecha; además emplearon tasas de crecimiento relativo para modelar el crecimiento y ahora pueden emplearse modelos logísticos, que han funcionado bien para frutales como el arazá (Hernández *et al.*, 2007), los ajís amazónicos (Barrera *et al.*, 2008), las peras Abbé Fetel (Garriz *et al.*, 2005), entre otros.

Para el departamento del Caquetá (amazonía occidental colombiana) no se han realizado estudios de crecimiento y desarrollo de copoazú. Por lo que un estudio en este aspecto permitiría establecer si para este fruto existen diferencias en el momento de cosecha entre las dos regiones de la amazonía, si varían mucho los resultados de respiración y color cuando se emplean técnicas más sofisticadas y si los modelos logísticos difieren mucho de las tasas de crecimiento relativo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar el momento óptimo de cosecha del copoazú (*Theobroma grandiflorum*) estableciendo parámetros de recolección y manejo poscosecha en condiciones de la amazonía occidental colombiana.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar las características fisicoquímicas y bioquímicas del fruto de copoazú durante el proceso de maduración fisiológica
2. Caracterizar el comportamiento fisiológico del fruto de copoazú durante la fase de maduración fisiológica.
3. Identificar los parámetros de recolección y manejo poscosecha del fruto de copoazú en la amazonía occidental colombiana.

1. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 ANTECEDENTES

En comparación con países como Brasil el tema de los cacaos nativos es relativamente nuevo en nuestro país. Al revisar la literatura se encuentra que en Brasil se han realizado trabajos desde comienzos de los cincuentas (Addison y Tavares, 1951; Ducke, 1953; Philocreon, 1962; Santos y Cundurú, 1972; Alves y Jennings, 1979; Barbosa *et al.*, 1979; Chaar, 1980; Diniz *et al.*, 1983; Calzavara *et al.*, 1984; Fraife, 1984; entre otros), mientras que en Colombia los primeros estudios de los que se tiene reporte aparecen a finales de los ochentas (Vargas, 1988).

En Colombia apenas se está empezando a prestar atención a las características y potenciales beneficios del copoazú. Existen pocos cultivos tecnificados y aún no se ha establecido un mercado que pueda considerarse sólido. Sin embargo, como se verá más adelante se han realizado trabajos que han permitido vislumbrar las potencialidades de estas especies. Los cacaos nativos que hasta el momento han empezado a estudiarse en Colombia son el copoazú (*Theobroma grandiflorum*) y el maraco (*Theobroma bicolor*).

1.1.1 Trabajos realizados en Copoazú en Colombia.

En la zona de San José del Guaviare se han realizado ensayos agronómicos con cacao tradicional (*Theobroma cacao*) y copoazú (Vargas, 1988) y se han elaborado estudios de mercadeo del fruto (García, 1995) y de prefactibilidad técnico-económica para la producción y procesamiento de este cacao (Barrera, 1994).

El Instituto Amazónico de investigaciones científicas SINCHI, en convenio con otras instituciones como la Universidad Nacional, es la entidad que más ha trabajado en el tema del Copoazú. Para el departamento del Guaviare, Hernández y Galvis (1994) desarrollaron un estudio en crecimiento y momento de cosecha de este fruto, trabajo que fue ampliado por Hernández *et al.* (2006). En este mismo departamento el Instituto SINCHI estableció, desde finales de los ochentas, un banco de germoplasma *ex situ* del género *Theobroma* como una estrategia de soporte para sustitución de cultivos ilícitos en la región (Vargas y Argüelles, 2000). Moreno *et al.* (2004) realizó la caracterización molecular de este banco de germoplasma, trabajo que fue ampliado más adelante empleando otra técnica (Moreno *et al.*, 2006).

Para la zona de San José del Guaviare y para otras zonas del país en las que se encuentra el copoazú, como el piedemonte caqueteño o el departamento del Amazonas (Leticia), se han realizado estudios sobre el procesamiento del fruto, tanto de la pulpa como de la semilla (Hernández y Galvis, 1993; Salinas, 1995;

Cruz, 1996; Lozano y Rozo, 1997; Argüello y Bolaños, 1999; Hernández y Barrera, 2000; Hernández y Barrera, 2001; Hernández y León, 2003; Barrera *et al.*, 2006c); además en la Universidad de los Andes se realizó un estudio sobre los compuestos volátiles de la pulpa de copoazú (Quijano y Pino, 2007).

Los trabajos ya mencionados y otros nuevos fueron compilados en el documento más completo, hasta el momento, para cacaos nativos (copoazú y maraco) en Colombia: “*Theobroma*” que contempla, además de lo ya mencionado, la caracterización del crecimiento y desarrollo vegetativo (Barrera *et al.*, 2006b), el aprovechamiento integral de la semilla (Barrera *et al.*, 2006a) y otras aplicaciones (Carrillo *et al.*, 2006).

1.1.2 Trabajos realizados en copoazú en Brasil.

En Brasil se ha estudiado el cultivo del copoazú, revisando aspectos como variedades, condiciones ecológicas y prácticas agronómicas (IPEAN, 1980; Müller *et al.*, 1984; Venturieri y Braz, 1984). Además de estudiar el cultivo, se ha trabajado en las operaciones poscosecha y el valor nutritivo del fruto (Calzavara *et al.*, 1984; Costa *et al.*, 2003; Rogez *et al.*, 2004; Ventuieri, 1993), la caracterización del almidón de la pulpa (Vriesmann *et al.*, 2009) y las fracciones pécticas de la misma (Vriesmann *et al.*, 2010; Vriesmann y de Oliveira, 2009).

También han recibido atención las características físicas y químicas de los ácidos grasos extraídos de las semillas (Gomes, 1988; Azevedo *et al.*, 2003; Lannes *et*

al., 2004), la caracterización de germoplasma (Venturieri, 1989) y el mejoramiento genético del cultivo (CPATU, 1990). Las enfermedades que afectan este cultivo también han sido consideradas, como el hongo *Crinipellis pernicioso* causante de la enfermedad escoba de bruja (Itauran y Amorim, 1991; Falcao *et al.*, 1999) y otras plagas que lo atacan (Mendes *et al.*, 1997).

Adicionalmente, se han estudiado los compuestos volátiles del licor de copoazú (Oliveira *et al.*, 2004) y este cacao ha estado incluido junto con otras frutas amazónicas en programas regionales de producción sostenible (TCA, 1996).

1.1.3. Trabajos realizados en copoazú en otros países.

En países como Ecuador también se han realizado estudios que involucran al copoazú (Jativa, 1996; ECORAE, 2001). En Portugal se ha trabajado en tecnología poscosecha de esta fruta (Vieira *et al.*, 2000; Vieira *et al.*, 2002) y en Francia se ha trabajado en el aroma de la pulpa (Boulanger y Crouzet, 2000).

1.1.4 Trabajos en crecimiento y desarrollo de otros frutos amazónicos.

Para la región de San José del Guaviare se han realizado estudios de crecimiento y momento de cosecha tanto para maraco (Casas, 1995; Hernández *et al.*, 2006), como para arazá (Galvis y Hernández, 1993). Para el piedemonte amazónico se ha estudiado el momento de cosecha para cocona (Fajardo y Murcia, 1998), carambola (González, 2000) y piña nativa (Pulido, 2000).

1.1.5 Reportes de momento de cosecha para copoazú.

Para condiciones de la amazonia occidental Rojas *et al.* (1998) reportan que la cosecha del copoazú se realiza aproximadamente 140 días después de haberse iniciado la floración, una vez que el fruto cae naturalmente. Este reporte se acerca al de Calzavara *et al.* (1984) que mencionan que desde la floración hasta la maduración transcurren aproximadamente cuatro a cuatro meses y medio (120-135 días); pero difiere ampliamente de los 240 días reportados por Hernández y Galvis (1994) y Hernández *et al.* (2006).

Otros frutales amazónicos como el arazá también han presentado momentos óptimos de cosecha diferentes para regiones diferentes; 62 días para San José del Guaviare (Galvis y Hernández, 1993) y 55 días para el departamento del Caquetá (Hernández *et al.*, 2007).

1.1.6 Determinación de momento óptimo de cosecha de copoazú en San José del Guaviare

Hernández y Galvis (1994) y Hernández *et al.* (2006) encontraron que la intensidad respiratoria es un índice fisiológico confiable para determinar el momento de cosecha, ya que cuando es mínima los frutos han completado su desarrollo y tienen el peso y tamaño suficientes. El color también puede ser usado como índice de cosecha, pues el fruto puede ser cosechado cuando la corteza presenta una coloración marrón clara y la pulpa un color amarillo crema. Adicionalmente, el porcentaje de acidez puede emplearse como índice de

madurez ya que a partir del séptimo mes se estabiliza el contenido de ácidos. En la Tabla 1 se presentan las características del fruto en el momento de cosecha.

Tabla 1. Características fisiológicas, físicas y químicas del fruto de copoazú en el momento de cosecha (240 días de desarrollo) para el departamento del Guaviare.

PARAMETRO	VALOR
Peso fresco total (g)	975.75
Peso seco total (g)	298.50
Longitud (cm)	19.71
Diámetro transversal (cm)	10.73
Respiración (mg CO ₂ /kg-h)	48.7
pH	3.89
Sólidos solubles (%)	14.4
Acidez (%)	1.07
Índice de madurez (S.S/Acidez)	13.45
Azúcares reductores (mg glucosa/100 g pulpa)	25.6
Azúcares totales (mg glucosa/100 g pulpa)	342.3

Fuente: Hernández y Galvis (1994) y Hernández *et al.* (2006)

1.2 MARCO TEÓRICO O CONCEPTUAL

1.2.1 El Copoazú.

El Copoazú (*Theobroma grandiflorum*) es un árbol típicamente amazónico que produce frutos carnosos, pertenece a la familia de las esterculáceas (Venturieri y Lopes, 1988). Las flores de esta planta son las más grandes del género, poseen color rojo oscuro y crecen en ramos, son pediculares de 3 a 5 cm. La floración se presenta 156 días después de la cosecha, en la temporada seca del año (de Aguiar y Lleras, 1983). El fruto es una baya drupácea, elipsoide o alargada, que mide de 15 a 35 cm de longitud por 10 a 15 cm de diámetro y pesa 1500 g

aproximadamente. Posee una cáscara dura y leñosa, que se quiebra fácilmente, ésta cáscara está recubierta de vellosidades “ferruginosas” cuyo aspecto es aterciopelado y que al ser raspadas dejan ver una capa clorofilada, en el caso del fruto maduro. Este fruto a diferencia del cacao (*Theobroma cacao*) posee abundante pulpa, cuyo color es amarillo o blanquecino, su olor es fuerte y agradable y su sabor es ácido; la pulpa se encuentra envolviendo las semillas (Lozano y Rozo, 1997).

1.2.1.1 Fenología del fruto. El fruto de copoazú tiene un período de crecimiento de 240 días en las condiciones del departamento del Guaviare. El mayor crecimiento en los diámetros longitudinal y transversal se registra en los primeros 180 días; después de este tiempo la curva de crecimiento se estabiliza, mostrando así un patrón de crecimiento del tipo sigmoideal simple (Hernández y Galvis, 1994; Hernández *et al.*, 2006).

1.2.1.2 Color del fruto. Después de los 180 días de desarrollo del fruto la coloración de éste cambia levemente de marrón oscuro a marrón claro; así mismo en los últimos 60 días el color de la pulpa cambia su tonalidad blanca por una coloración hueso o crema y el recubrimiento o testa de las semillas se torna duro y de color café (Hernández y Galvis, 1994; Hernández *et al.*, 2006).

1.2.1.3 Composición química de la pulpa. Rogez *et al.* (2004) realizaron un análisis muy completo de la pulpa del fruto de Copoazú (Tabla 2) y mencionan que

posee un alto contenido de proteína, un contenido relativamente alto de lípidos, pero el contenido de sólidos solubles es bajo con respecto a otros frutos tropicales. Vriesmann *et al.* (2009) mencionan que la pulpa de copoazú seca y desgrasada contiene 15% de almidón, esta proporción es aproximadamente 1,8% del peso fresco de la pulpa.

Para la pulpa de copoazú se han reportado cantidades importantes de vitamina C, 15-28 mg ácido ascórbico/100g pulpa (Barbosa *et al.*, 1979; Chaar, 1980). Viera *et al.* (2000) menciona que la pulpa de Copoazú contiene 0,025-0,035% de vitamina C (25-35 mg ácido ascórbico/100g pulpa).

Tabla 2. Composición química de la pulpa del fruto de Copoazú (*Theobroma grandiflorum*) maduro.

CONSTITUYENTE	VALOR
pH	3,4±0,1
Materia seca (%)	12,1±0,5
Proteína (% MS)	8,8±1,0
Lípidos (%MS)	12,7±2,2
Cenizas (%MS)	5,3±0,5
Azúcares (%MS)	49±4,0
Glucosa	6,9±0,8
Fructosa	8,8±0,5
Sacarosa	34,6±1,7
Fibra dietaria total (% MS)	14,3±0,6
Contenido de aminoácidos (g/100g proteína)	
Glicina	4,45±0,16
Alanina	7,11±0,58
Valina	6,06±0,24
Leucina	6,82±0,54
Isoleucina	4,42±0,29
Prolina	4,56±0,34
Fenilalanina	4,64±0,23

Tabla 2. Composición química de la pulpa del fruto de Copoazú (*Theobroma grandiflorum*) maduro (continuación)

CONSTITUYENTE	VALOR
Contenido de aminoácidos (g/100g proteína) (continuación)	
Tirosina	3,9±0,20
Serina	4,73±0,16
Treonina	4,09±0,30
Cisteína	2,33±0,11
Metionina	2,21±0,16
Asparagina + ácido aspártico	15,77±2,69
Glutamina + ácido glutámico	16,25±0,19
Lisina	6,16±0,29
Arginina	4,27±0,34
Histidina	2,35±0,17
Ácidos grasos (g/100g ácidos grasos totales analizados)	
Ácido mirístico	0,12±0,03
Ácido palmítico	55,22±0,62
Ácido palmitoléico	0,56±0,15
Ácido esteárico	3,12±0,15
Ácido oleico	18,8±2,44
Ácido linoléico	3,08±0,63
α-Ácido linoléico	17,98±2,00
AGS / AGI	1,4004
AGMI / AGPI	0,9782
ω-6 / ω-3	0,1713
Minerales y elementos traza (mg / 100g PF)	
Na	2,56±0,20
K	34,27±4,27
Ca	5,57±0,85
Mg	13,07±1,94
P	15,73±0,48
Fe	0,432±0,042
Zn	0,532±0,024
Cu	0,258±0,059
Mn	0,21±0,048

Fuente: Rogez *et al.* (2004).

MS: materia seca; PF: peso fresco; AGS: ácidos grasos saturados; AGI: ácidos grasos insaturados; AGMI (AGPI): ácidos grasos mono (poli) insaturados.

1.2.2 Crecimiento y desarrollo del fruto.

El crecimiento es la producción de protoplasma que normalmente viene acompañada de un cambio de forma y un aumento irreversible de la masa de un organismo vivo, órgano o célula. Es importante resaltar que se puede dar crecimiento sin que aumente el tamaño, pero sí el número de células (Barceló *et al.*, 2005).

Según Grange (1999) los frutos carnosos presentan una característica muy importante, y es que el tamaño final del fruto se ve influenciado por tres procesos importantes:

- a) La fase inicial de división celular, que ocasiona la formación del ovario antes de la antesis (apertura de la flor). El número de células del ovario o la variación en el número de ovarios pueden afectar el tamaño final del fruto dentro de una misma especie; estas diferencias pueden ser por factores genéticos o ambientales.
- b) La segunda fase de división celular, que ocurre después de la antesis y la polinización, da lugar al “cuajado del fruto” e inicia su crecimiento.
- c) La fase final o expansión celular, que es muy importante en casi todos los frutos carnosos que poseen altos contenidos de agua. La duración de este período de expansión no depende del tamaño final del fruto, sino de factores medioambientales como la temperatura, la irradiancia (cantidad de energía

solar que llega a la atmósfera por unidad de superficie), el aporte de asimilados y el balance hídrico.

Con muy pocas excepciones (el kiwi por ejemplo), el crecimiento de los frutos, desde la antesis hasta que alcanza la madurez, describe una curva de tipo sigmoide o doble sigmoide, en donde las fases de crecimiento rápido están separadas por un intervalo o fase intermedia de crecimiento lento o nulo, de duración variable (Wills *et al.*, 1998).

Según Salisbury y Ross (2006) la curva sigmoide se interpreta como el tamaño acumulado del fruto en función del tiempo, en esta curva se pueden reconocer tres fases principales: una logarítmica, una lineal y una de senescencia.

En la fase logarítmica, el tamaño aumenta en forma exponencial a través del tiempo, y se caracteriza por una velocidad lenta de crecimiento al principio. La fase lineal, se caracteriza porque el aumento de tamaño es continuo a una velocidad constante. La fase de senescencia se caracteriza por una velocidad decreciente de crecimiento a medida que el fruto alcanza su madurez y comienza a envejecer.

1.2.3 Respiración.

La respiración es uno de los principales procesos fisiológicos que se presenta en un producto cosechado o en cualquier parte de la planta; puede describirse como

el rompimiento oxidativo de materiales como almidón, azúcares y ácidos orgánicos, para la producción de energía y otras moléculas usadas en reacciones de síntesis. La respiración se encuentra asociada a un conjunto de reacciones, el almidón se hidroliza aumentando los niveles de sacarosa. En general, en el fruto se produce un agotamiento de los glúcidos en los tejidos (Herrero, 1995).

Típicamente los frutos se clasifican en climatéricos y en no climatéricos. Los primeros exhiben un marcado aumento en la actividad respiratoria y en la producción de etileno hacia el final de la fase de madurez fisiológica. La respiración climatérica representa una transición entre la madurez fisiológica y la senescencia. Los frutos no climatéricos no exhiben un aumento en la actividad respiratoria ni en la producción de etileno, sino que ésta se incrementa un poco al final de la madurez organoléptica (Hobson, 1999).

Según Agustí (2008) los frutos climatéricos son aquellos que durante su crecimiento acumulan almidón y, en la maduración lo hidrolizan a monosacáridos, glucosa y fructosa principalmente. Como ello exige una gran cantidad de energía, en estos frutos la maduración se caracteriza por un aumento en la respiración. Los frutos no climatéricos son aquellos que acumulan monosacáridos durante su crecimiento y, por tanto durante la maduración no hay incrementos significativos de su tasa respiratoria.

En general, la actividad respiratoria del fruto durante la madurez fisiológica tiende a disminuir, siendo un poco mayor en los frutos climatéricos que en los frutos no climatéricos.

1.2.4 Maduración del fruto.

La maduración de un fruto es un proceso fisiológico y bioquímico irreversible, que está bajo control genético y hormonal, comprendido entre las fases de crecimiento (alta división celular) y senescencia; este proceso acompañado por múltiples cambios a nivel celular, más que por un aumento de tamaño, proporciona las características óptimas para su consumo (Wills *et al.*, 1998; Seymour *et al.*, 1993).

Es importante distinguir entre la madurez fisiológica (*maturation* en inglés), que es el proceso en que se alcanza y finaliza el máximo estado de desarrollo del fruto, y, la madurez organoléptica o de consumo (*ripening* en inglés) que comprende los cambios que se producen desde las últimas etapas del desarrollo hasta las primeras fases de la senescencia en las que se producen las alteraciones características en la calidad de los frutos (cambios de color, aroma, textura, etc.) (Hobson, 1999). Aquí se hará referencia a la madurez fisiológica, pues es la etapa de interés para los propósitos de esta investigación.

1.2.4.1 Madurez fisiológica. Es la que se logra cuando el fruto ha alcanzado su máximo desarrollo (máximo peso fresco y máximas dimensiones), por lo tanto su intensidad respiratoria es mínima. Adicionalmente, se detiene la acumulación de

reservas, la semilla es viable y se incrementan los procesos metabólicos que conducen a la madurez de consumo. En la mayor parte de los frutos el máximo desarrollo se alcanza antes que el producto alcance el estado de preferencia de los consumidores (López, 2003). Se considera que existe madurez fisiológica cuando el fruto cuenta con todas las características para ser cosechado, lo que no implica necesariamente que el fruto posea todos los requerimientos para su inmediata utilización o consumo. Por ejemplo, el banano que suele estar almacenado por un tiempo considerable se cosecha antes de que esté suficientemente desarrollado para su consumo inmediato, de tal manera que cuando llegue al consumidor, si ha sido almacenado correctamente, apenas esté entrando en su etapa de madurez organoléptica (Kays y Paull, 2004).

1.2.4.2 Medidas físicas de la madurez. Comúnmente se emplean medidas físicas tales como tamaño, color, o textura, que son muy específicas para cada tipo de fruto e incluso para cada variedad. Para cada tipo de variable se emplean diferentes equipos, dentro de los menos comunes están:

- ✓ Para determinar la firmeza se mide la resistencia a la penetración del tejido utilizando un “penetrómetro” de forma y tamaño estándar. Este método implica la destrucción del fruto, por lo que se está trabajando en el desarrollo de técnicas no destructivas para medir la firmeza.
- ✓ Para la determinación del color la cantidad de luz absorbida a una longitud de onda determinada se relaciona con la cantidad de un pigmento específico

absorbente presente en el fruto, ya sea en la piel, en la pulpa o en las semillas (Kays y Paull, 2004).

1.2.4.3 Medidas químicas de la madurez. Los parámetros más comunes son agua, sólidos solubles, azúcares específicos, almidón, acidez titulable e intensidad respiratoria. Otros compuestos o grupos de compuestos pueden ser empleados para frutos específicos (Kays y Paull, 2004).

1.2.5 Momento óptimo de cosecha.

Es el momento en el que se debe cosechar el fruto, de tal manera que ya haya alcanzado su máximo desarrollo fisiológico, por ende las semillas sean capaces de producir una nueva planta y que permita conservar su calidad durante el mayor tiempo posible gracias a la disponibilidad de reservas existentes. El punto óptimo de cosecha se determina empleando características físicas y/o químicas específicas del fruto, estos parámetros se modifican de acuerdo a los requerimientos de calidad que se busquen en el fruto (Kays y Paull, 2004).

Los parámetros mencionados anteriormente reciben el nombre de índices de cosecha y Hernández *et al.* (2006) mencionan que se clasifican en tres grupos:

- ✓ De tipo cronológico. Se refiere a la edad del fruto, viene dado por los días transcurridos desde la floración hasta el tamaño normal del fruto, cuando se considera que está fisiológicamente desarrollado. Este tiempo se modifica de

una variedad a otra y de acuerdo con la región, por lo tanto no es muy confiable (Durán, 1982).

- ✓ De tipo físico y fisiológico. Se observa o mide el color de la epidermis, pulpa y semillas; la facilidad de desprendimiento del fruto; tamaño, peso y dureza de la pulpa; peso específico o gravedad específica.

- ✓ De tipo químico. En el que se analizan varios componentes.
 - Contenido de almidón: el cual disminuye a medida que el fruto va madurando, se degrada transformándose en azúcares, en consecuencia el contenido de sólidos solubles va aumentando (Herrero, 1995).

 - Contenido de ácidos orgánicos: a medida que el fruto madura la concentración de ácidos decrece, así mismo el pH aumenta. Estos índices son aceptables y válidos para determinar el estado de maduración de algunos frutos (Durán, 1982; Kays y Paull, 2004).

 - Relación azúcares/ácidos orgánicos: esta relación varía al madurar el fruto, disminuyendo los ácidos y aumentando los azúcares.

 - Respiración (intensidad respiratoria): es un proceso metabólico fundamental en el fruto, en donde se degradan productos complejos presentes en las células como el almidón, azúcares y ácidos orgánicos a

moléculas más simples, CO₂ y H₂O (Wills, *et al.*, 1998). Midiendo la intensidad respiratoria de la fruta mediante la determinación de absorción de O₂ o producción de CO₂ y representando estos valores durante su desarrollo, se obtiene un patrón característico.

1.2.6 Cambios en la composición del fruto.

Se ha establecido que durante el desarrollo de los frutos, estos acumulan cantidades variables de azúcares, ácidos orgánicos y almidón. La mayoría de los frutos acumulan almidón y ácidos orgánicos durante su desarrollo. El almidón origina azúcares más sencillos antes o durante la maduración por acción de las enzimas α -amilasa y β -amilasa. En cuanto a los ácidos orgánicos, la mayoría de los frutos contienen concentraciones elevadas de ácidos relacionados con el ciclo de los ácidos tricarbóxicos (Taiz y Zeiger, 2006; Barceló *et al.*, 2005).

Durante la madurez fisiológica se degradan los carbohidratos de reserva en azúcares más sencillos, se reduce el contenido de ácidos orgánicos y polifenoles, se degrada la clorofila, se sintetizan nuevos pigmentos que hacen que la coloración del fruto se modifique y se producen mezclas complejas de sustancias volátiles que modifican el aroma del fruto (Hobson, 1999). Las vitaminas de mayor interés en las frutas son la A y la C, las cuales aumentan en el proceso de maduración y disminuyen en la etapa de la senescencia (Wills *et al.*, 1998).

1.2.7 Senescencia de los frutos.

La senescencia constituye la etapa final del desarrollo de los frutos. Puede definirse como una serie de cambios degenerativos controlados endógenamente cuyo resultado es la muerte natural de la células, tejidos, órganos y organismos (Kays y Paull, 2004).

2. METODOLOGÍA

2.1 LOCALIZACIÓN

El estudio se adelantó en la granja “Estefanía” ubicada en el kilómetro 3 de la vía a Neiva, en la vereda la primavera del municipio de Florencia, en el departamento del Caquetá (Amazonía occidental colombiana). La mencionada granja se encuentra localizada a 1°39’49.8” de latitud norte y 75°36’55.7” de longitud oeste del meridiano de Greenwich, a 332 msnm. En la Tabla 3 se presentan los datos meteorológicos para los meses de muestreo, de la estación Macagual, ubicada a 1° 37’ de latitud norte y 75° 36’ de longitud oeste, a 280 msnm.

Tabla 3. Datos estación meteorológica Macagual Abril a Julio de 2007

PARAMETRO	M E S			
	Abril	Mayo	Junio	Julio
Precipitación (mm)	454,8	393	230,9	433,6
Temperatura (°C)	23,6	26,0	25,9	23,7
Humedad relativa (%)	75,9	60,8	54,8	73,5
Luminosidad (x10 Lux)	1372	825	1387	1422

Fuente: Estación meteorológica Macagual, 2007

2.2 MATERIAL VEGETAL

En el periodo comprendido entre los meses de abril y julio de 2007 se marcaron aproximadamente 185 frutos recién cuajados (4,12 cm de longitud y 1,24 cm de diámetro) de 23 árboles de una plantación de 4,5 años de edad en plena

producción, y se monitorearon desde el cuajado del fruto hasta cuatro días después de la abscisión natural. Se tomaron muestras cada dos semanas. Los frutos colectados se colocaron en papel periódico humedecido y se transportaron al laboratorio de nutrición de la Universidad de la Amazonía en Florencia. Tres réplicas por separado fueron monitoreadas quincenalmente para diámetro longitudinal y ecuatorial (DL y DE, respectivamente) medidos con un calibrador Vernier de 0,01 cm de precisión (modelo 700-103BPC-600B, General Supply Corporation, Jackson, MA, USA).

2.3 RASGOS DE CALIDAD DEL FRUTO

El peso fresco (PF) se midió con una balanza 0,01 g de precisión (modelo BC2200C, Precisa, Dietikon, Suiza). El peso seco (PS) fue determinado colocando el fruto en estufa a 70°C por 48 horas. A partir de los 96 días se midió el color de la corteza, previa remoción con un cepillo de la capa ferruginosa, en dos puntos opuestos a lo largo del ecuador del fruto; además se midió color de pulpa y semilla. En todos los casos se emplearon coordenadas L*C*H* con un colorímetro HUNTER LAB miniscan XE plus (iluminante D65; 2° del observador). La intensidad respiratoria del fruto fue determinada por triplicado de acuerdo al método estático (Kader, 2002a) por confinación de frutos individuales por 2,5 horas a 27°C y una presión atmosférica de 0,968 atm, según metodología probada por Carrillo (2005). La producción de CO₂ y etileno fue medida por cromatografía gaseosa usando un cromatógrafo Agilent 4890D acoplado con un integrador hp

3395/3396, empleando la metodología de Hernández *et al.* (2007). Para las mediciones de CO₂ y C₂H₄, el cromatógrafo de gases (CG) fue equipado con un detector de conductividad térmica (TCD) y un detector de ionización de llama (FID), respectivamente. El CG estaba equipado con una columna Super-qplot hp 19095P con una fase granulada (25 m de longitud, espesor de película de 25 mm, y 53 mm de diámetro interno). Las temperaturas del horno, el inyector y el TCD para las determinaciones de CO₂ fueron 30, 50 y 300°C, respectivamente. Para las medidas de producción de etileno, las temperaturas correspondientes para el horno, el inyector y el FID fueron 30, 50 y 250°C, respectivamente. Las velocidades de flujo de los gases (helio, aire sintético e hidrógeno) fueron 30, 300 y 48 mL.min⁻¹. La columna fue calibrada con un estándar certificado de 2% de CO₂ y 10 ppm de etileno (AGA, Bogotá, Colombia). El contenido de sólidos solubles totales (SST) fue medido al jugo de la pulpa de cada fruto con un refractómetro portátil Atago 103 bp (Atago, Japón). La pulpa de estos mismos frutos fue homogenizada, y 5 g de la misma fueron mezclados con 30 mL de agua destilada. El pH de la mezcla resultante fue medido con un electrodo Consort C931 electrochemical analyzer (Turnhout, Bélgica) antes de ser titulada hasta pH 8,1 con una solución de NaOH 0,1N siguiendo el método de acidez total titulable (ATT) (Mercado-Silva *et al.*, 1998). ATT fue reportada en porcentaje en peso de ácido cítrico y la proporción entre SST y ATT (índice de madurez) fue tabulada como SST/ácido cítrico (%).

2.4 ATRIBUTOS DE CALIDAD BIOQUÍMICOS

El ácido ascórbico, los azúcares y ácidos orgánicos fueron evaluados a partir de los 96 días de desarrollo y hasta cuatro días después de la abscisión natural. El ácido ascórbico, los azúcares y ácidos orgánicos fueron cuantificados en dos réplicas por cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC), empleando la metodología de Hernández *et al.* (2007). Se realizó un sólo proceso de extracción homogenizando en Vortex 1 g de tejido carnoso en 6 mL de ácido sulfúrico 5mM a 18°C por 10 minutos. El homogenizado fue centrifugado a 10000 x g_n a 4°C por 60 minutos. La muestra fue filtrada a través de un cartucho PTFE, con un tamaño de poro de 0,45 µm. Para la determinación de ácido ascórbico 50 µL del filtrado fueron inyectados en el sistema HPLC Agilent Technologies 1200 Series usando ácido sulfúrico 5mM (0,5 mL.min⁻¹) como solvente y una longitud de onda de 243 nm en el detector UV/vis UV-9757. Para la determinación de azúcares y ácidos orgánicos de los frutos inmaduros una muestra del filtrado de 200 µL fue eluida con 1000 µL de ácido sulfúrico 5mM, y para los frutos maduros una muestra filtrada de 100 µL fue eluida con 1000 µL de ácido sulfúrico 5mM. En los dos casos 50 µL del eluido fueron inyectados en el sistema HPLC Agilent Technologies 1200 Series usando ácido sulfúrico 5mM (0,5 mL.min⁻¹) como solvente. El sistema consistió de un detector de índice de refracción para la determinación de azúcares (Waters Associates, Milford, MA) y de un detector UV/vis UV-9757 (longitud de onda de 214 nm) para la determinación de ácidos orgánicos. El HPLC estaba equipado con una columna Aminex HPX-87H de Biorad (CA, USA) a 45°C. La

fructosa, glucosa, sacarosa y los ácidos ascórbico, málico, succínico y cítrico fueron identificados y cuantificados por comparación con los tiempos de retención e integrando las áreas del pico de estándares externos.

2.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y MODELOS DE CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL FRUTO

A las variables dependientes se les chequeó previamente la aleatoriedad, la normalidad y la homogeneidad de varianza. Los rasgos morfológicos de crecimiento del fruto fueron modelados por un modelo logístico: $Y = a / (1 + e^{b-c \cdot D})$, donde el coeficiente a es el máximo tamaño alcanzado por el fruto, b controla la velocidad de crecimiento, c afecta la pendiente de la curva de crecimiento y D es el tiempo (en días desde el cuajado del fruto). Los modelos de regresión logística fueron estimados usando el software analítico Statistix 9.0 (Analytical Software, 2008) de acuerdo con Garriz *et al.* (2005) y Barrera *et al.* (2008). La idoneidad del modelo logístico fue evaluada usando el valor de R^2 y el cuadrado medio residual (Garriz *et al.*, 2005). El resto de las variables fueron sometidas a análisis de varianza con el tiempo de crecimiento como factor usando el sistema gráfico estadístico Statgraphics Plus (Statgraphics Plus 5.0, 2000). La relación entre los rasgos analizados durante el crecimiento del fruto fue calculada por el análisis de correlación de Pearson y análisis de componentes principales. Estos análisis fueron desarrollados con Statistix 9.0 (Analytical Software, 2008)

3. RESULTADOS

3.1 CRECIMIENTO DEL FRUTO

El crecimiento del Copoazú describió una curva simple sigmoide para los caracteres morfológicos, el peso fresco y el peso seco (Tabla 2, Fig. 1A a 1D). El máximo crecimiento fue alcanzado aproximadamente 83 días después del cuajado del fruto. La regresión logística tuvo el ajuste más satisfactorio para los rasgos de crecimiento y el más bajo cuadrado medio residual ($R^2 \geq 0,85$, $p < 0,001$).

Tabla 4. Modelos logísticos ajustados para las diferentes variables vs. tiempo de crecimiento (D, en días después el cuajado del fruto) para frutos de Copoazú seleccionados de acuerdo al cuadrado medio.

Variable Dependiente Y	Modelo Logístico	Cuadrado medio residual
Diámetro Longitudinal (cm)	$Y = 18,5 / (1 + e^{1,40 - 0,05 \cdot D})$	0,24
Diámetro Ecuatorial (cm)	$Y = 10,6 / (1 + e^{2,64 - 0,06 \cdot D})$	0,14
Peso fresco (g)	$Y = 1143,3 / (1 + e^{5,29 - 0,08 \cdot D})$	24,2
Peso seco (g)	$Y = 522,1 / (1 + e^{4,55 - 0,04 \cdot D})$	4,8
Peso epicarpio (g)	$Y = 265,4 / (1 + e^{3,49 - 0,03 \cdot D})$	2,5
Peso pulpa (g)	$Y = 251,9 / (1 + e^{4,69 - 0,03 \cdot D})$	2,0
Peso semillas (g)	$Y = 105,7 / (1 + e^{5,42 - 0,05 \cdot D})$	1,8

Los coeficientes de determinación R^2 fueron $\geq 0,85$ excepto para peso seco del epicarpio (0,82). Los grados de libertad residuales fueron de 258 para los diámetros longitudinal y ecuatorial; 118 para peso fresco; 65 para peso seco y 25 para peso seco de epicarpio, pulpa y semilla. Los términos fueron significativos ($p < 0,001$).

En los modelos de crecimiento y empleando ANOVA se identificaron tres estados: E1 que corresponde a la etapa de división celular y va desde el cuajado del fruto hasta los 33 días; E2 que corresponde a la etapa de elongación celular, va desde los 33 hasta los 83 días; y una etapa final E3 que corresponde a la etapa de

estabilización del crecimiento donde el fruto alcanzó su tamaño final a los 96 días (Fig. 1A a 1C). El modelo crece lentamente en E1 para PF y PS (Fig. 1C y 1D), pero creció más rápidamente para DL y DE (Fig. 1A y 1B). Las cuatro variables morfológicas se incrementaron exponencialmente durante el segundo estado (E2) (Fig. 1A a 1D). El peso fresco (PF) permaneció más o menos constante en E3 (Fig. 1C). Los diámetros longitudinal y ecuatorial, el peso fresco y el peso seco se ajustaron a una curva simple sigmoide con coeficientes de correlación altos ($R^2 \geq 0,85$) (Fig. 1A a 1D y Tabla 2) y significancia estadística ($p < 0,001$).

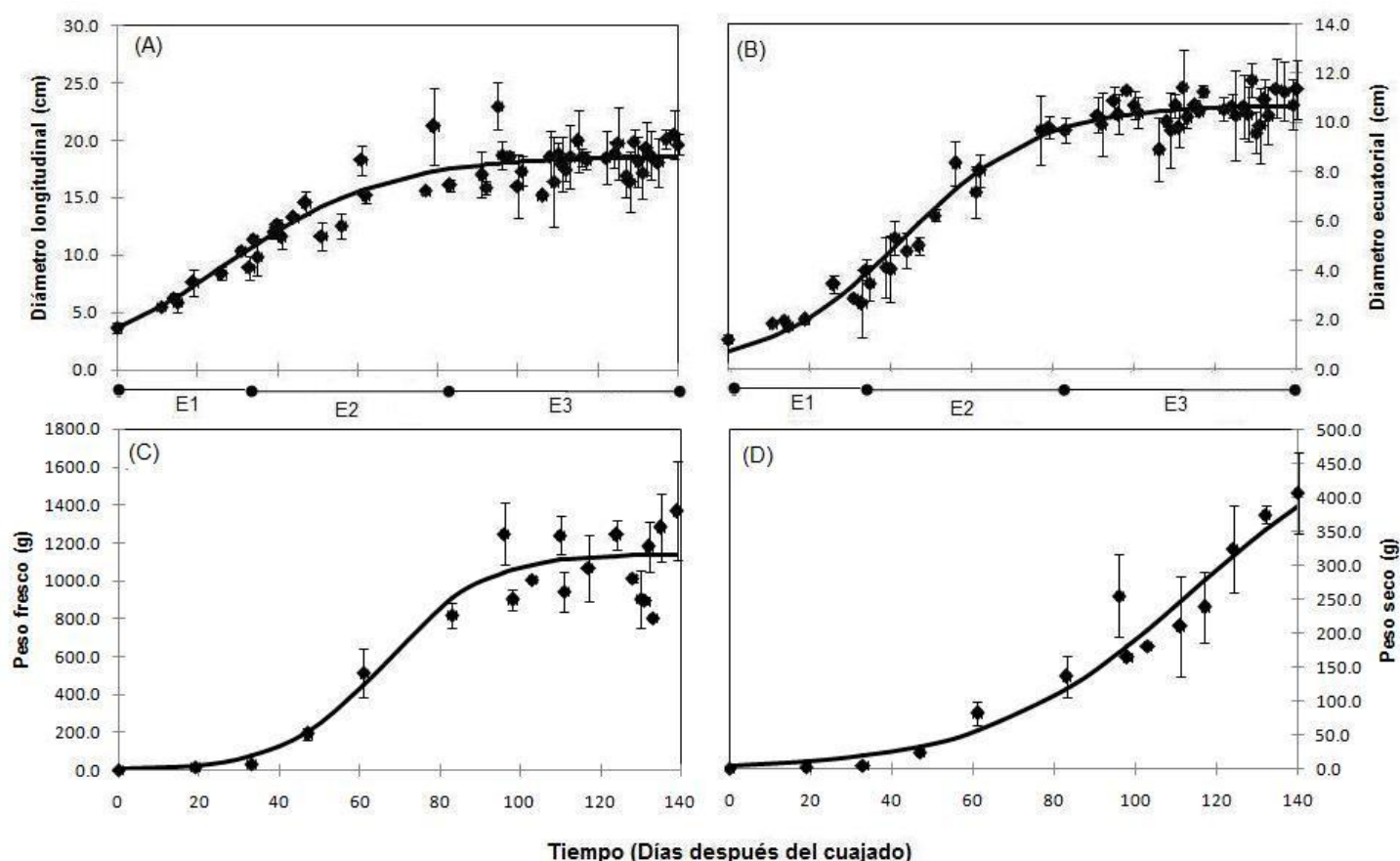


Fig. 1. Diámetros longitudinal (A) y ecuatorial (B) (DL ó DE, respectivamente) y peso fresco (C) y peso seco (D) (PF ó PS, respectivamente) durante el crecimiento del fruto de Copoazú. La línea sólida indica la línea ajustada del modelo logístico. Las barras indican la desviación estándar (n=3 frutos).

3.2 RESPIRACIÓN

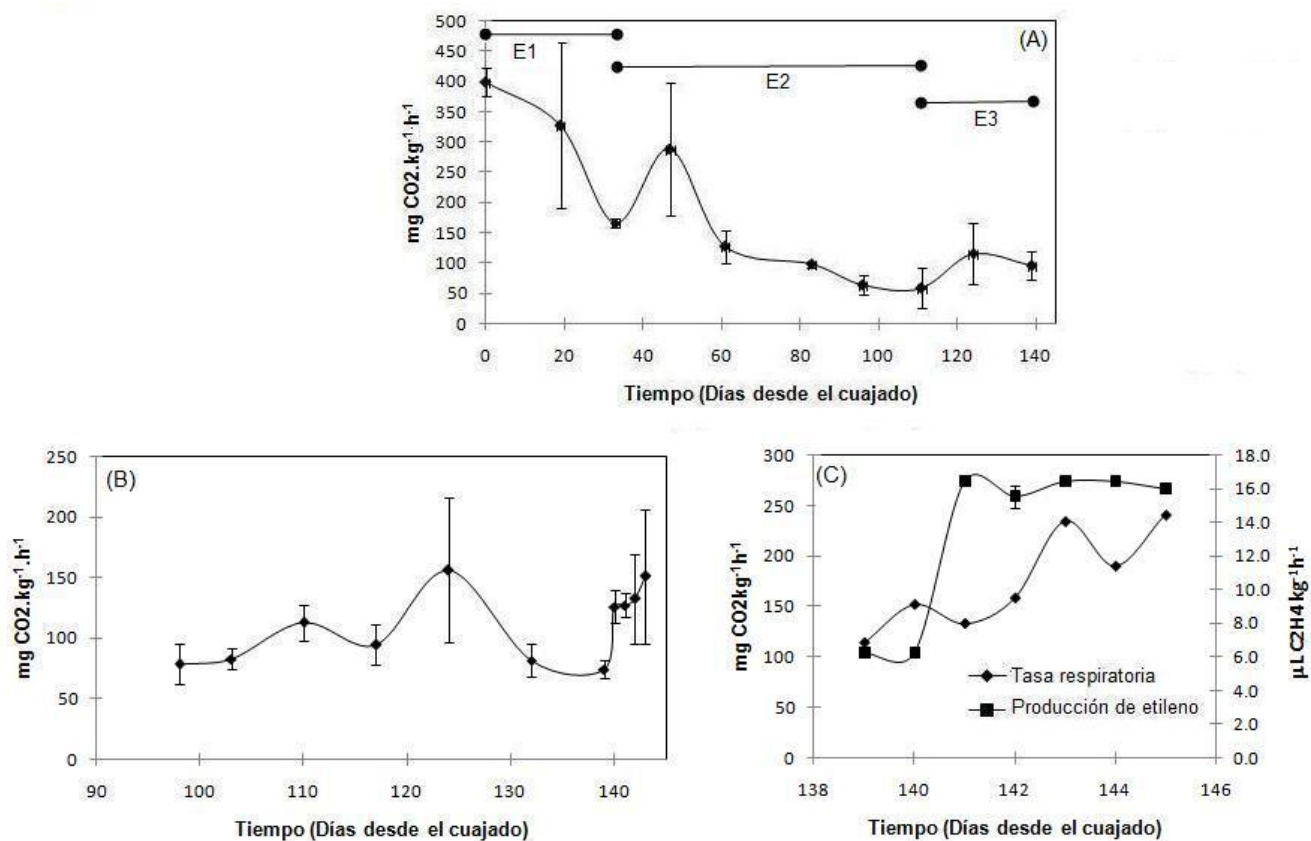


Fig. 2. Intensidad respiratoria durante el crecimiento del fruto de Copoazú (A); Intensidad respiratoria durante E3 (B); Intensidad respiratoria y producción de etileno posterior a la abscisión natural del fruto. Las barras indican la desviación estándar (n=3). Las barras de desviación no son mostradas si el tamaño de la barra es más pequeño que el tamaño del símbolo.

La actividad respiratoria, medida en mg CO₂.kg⁻¹.h⁻¹, fue alta (399,37 mg) al comienzo del crecimiento del fruto (E1), consecuencia de la máxima división celular presente durante esta fase (Fig. 2A).

Aunque al comienzo de la fase de expansión celular (E2) se presentó un climaterio de juvenilidad, la actividad respiratoria fue disminuyendo hasta alcanzar 97,37 mg

al finalizar E2 (Fig. 2A). Finalmente, durante el estado E3 se presentó un pico climatérico (156,24 mg) alrededor de los 124 días de desarrollo (Fig. 2A y 2B). Para este estudio el incremento en el pico climatérico fue significativo ($p < 0,05$). No se presentó producción de etileno detectable.

Después de la abscisión natural del fruto la intensidad respiratoria, medida en $\text{mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, aumentó de 114,15 mg a los 139 días a 234,65 mg a los 143 días (Fig. 2C). Además se presentó emisión detectable de etileno, aunque no en todos los frutos. Los niveles de producción de etileno medidos en $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ oscilaron entre 6,23 μL a los 139 días y 16,47 μL a los 143 días (Fig. 2C).

3.3 COLOR

La pulpa permaneció de color blanco durante E1, E2 y al comienzo de E3 ($L^* = 75,8 \pm 4,8$; $C^* = 8,0 \pm 0,7$; $H^* = 98 \pm 3^\circ$). Durante E3 el color de la pulpa se tornó más amarillo y más intenso al disminuir H^* y aumentar C^* hasta los 132 días, además se hizo más luminoso al aumentar L^* hasta los 124 días (Fig. 3B). Para la pulpa, el menor H^* ($96,7^\circ$) y C^* (13,7) más alto se presentaron a los 132 días de desarrollo, aunque no tuvieron cambios significativos (Fig. 3B).

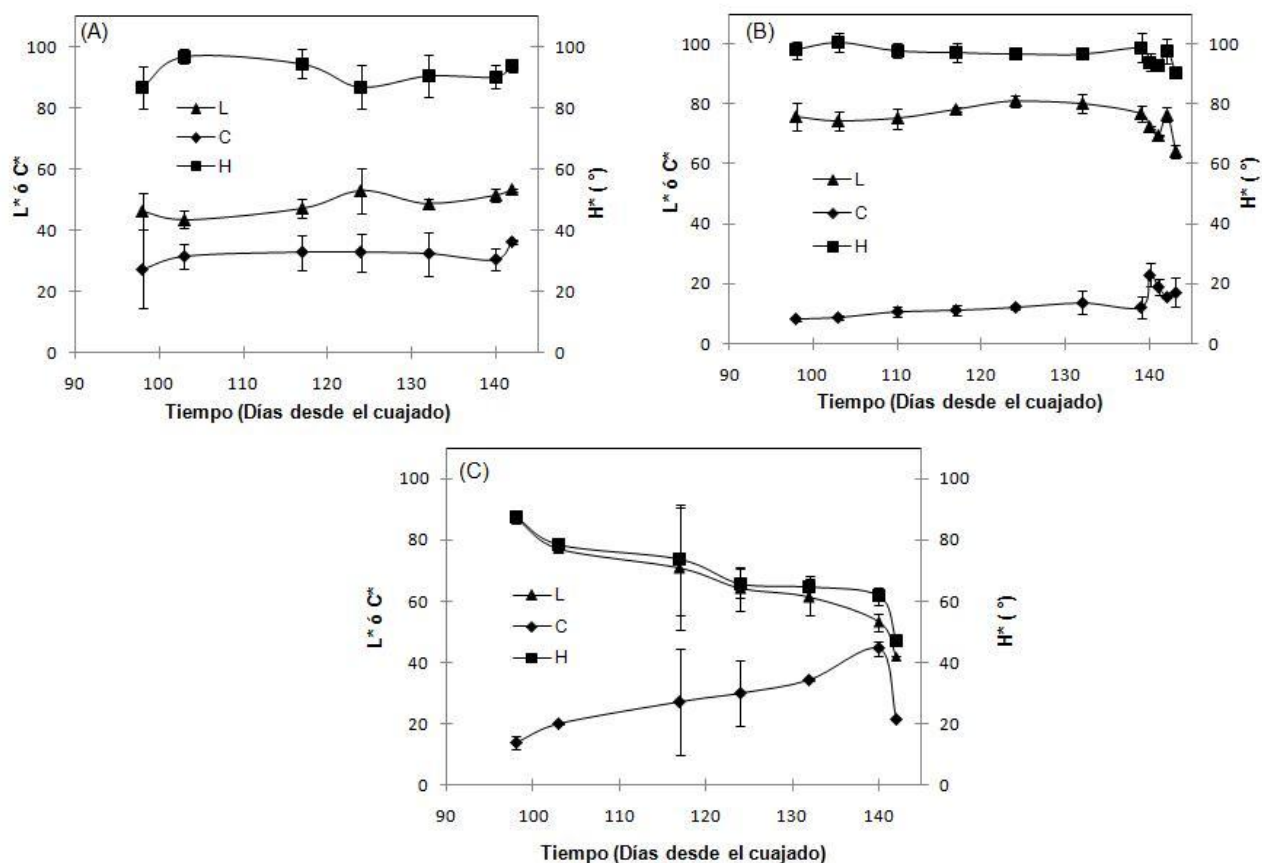


Fig. 3. Cambios de color durante la fase E3 del desarrollo del fruto de Copoazú en Corteza (A); Pulpa (B) y Semilla (C). Las barras indican la desviación estándar (n=3). Las barras de desviación no son mostradas si el tamaño de la barra es más pequeño que el tamaño del símbolo.

Se observó la mayor L* (81,0) de la pulpa a los 124 días, aunque sin cambios significativos (Fig. 3B). Posterior a la abscisión natural del fruto L* de la pulpa aumentó de manera significativa ($p < 0,01$) hacia los 142 días, para luego descender significativamente hacia los 143 días (Fig. 3B).

La semilla permaneció de un color similar al de la pulpa durante E1, E2 y al comienzo de E3 ($L^* = 86,8 \pm 1,6$; $C^* = 13,9 \pm 2,1$; $H^* = 87,7 \pm 1,5^\circ$). Durante E3 el color de

la semilla se tornó más marrón, menos luminoso y más intenso al disminuir H^* y L^* y aumentar C^* hasta los 140 días (Fig. 3C). Para la semilla a los 142 días el H^* ($47,1^\circ$) y la L^* ($42,0$) presentaron un descenso significativo ($p < 0,05$ y $p < 0,01$, respectivamente) respecto a los valores presentados entre los 98 y los 117 días (Fig. 3C).

En cuanto al color de la corteza bajo la capa ferruginosa, durante E3 se tornó más amarillo y un poco más intenso y luminoso al disminuir H^* y aumentar C^* y L^* hasta los 124 días (Fig. 3A). Para la corteza el ángulo Hue (H^*), la luminosidad (L^*) y el croma (C^*) no presentaron cambios significativos a lo largo de E3 (Fig. 3A).

3.4 OTROS RASGOS DE CALIDAD

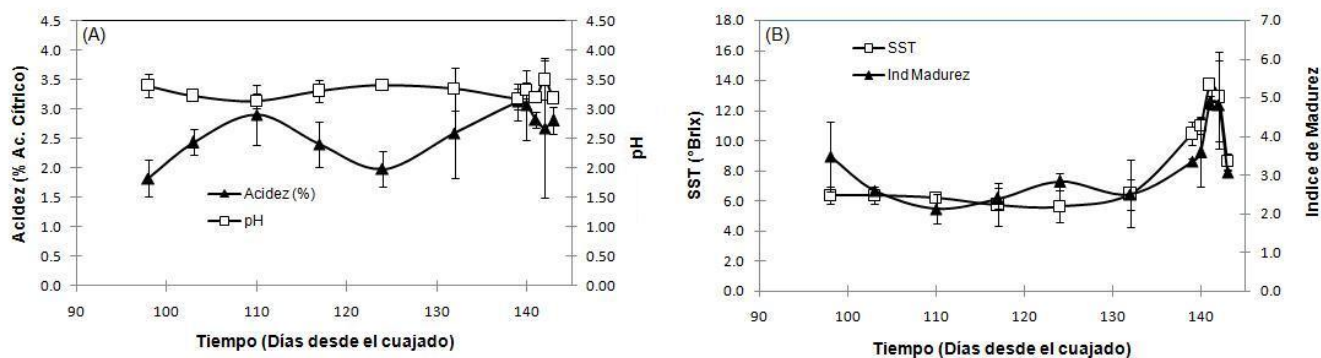


Fig. 4. ATT (% Ac. Cítrico) y pH (A) y SST e Índice de madurez (B) durante la fase E3 del desarrollo del fruto de Copoazú. Las barras indican la desviación estándar ($n=3$). Las barras de desviación no son mostradas si el tamaño de la barra es más pequeño que el tamaño del símbolo.

Durante el pico climatérico hacia los 124 días la ATT descendió a 2%, para luego aumentar a 3,1% al final de estado E3 (Fig. 4A). El pH presentó un comportamiento opuesto al de la acidez, con un leve ascenso durante el pico climatérico (Fig. 4A). Ni la ATT, ni el pH presentaron cambios estadísticamente significativos durante E3. El índice de madurez (SST/ATT) descendió de manera significativa ($p < 0,05$) entre los 98 y los 110 días, pasando de 3,5 a 2,1, para luego aumentar a 3,1 hacia el final de E3 (Fig. 4B). Los SST presentaron un incremento significativo ($p < 0,05$) a los 139 días pasando de 6,5 a 10,5 °Brix (Fig. 4B).

Posterior a la abscisión natural del fruto tanto los SST como el índice de madurez aumentaron, pasando de 10,5°Brix y I.M.= 3,3 a los 139 días hasta 13,7°Brix y I.M.= 4,9 a los 141 días. Luego SST e I.M. empezaron a descender, aunque no de manera significativa (Fig. 4B).

3.5 ATRIBUTOS DE CALIDAD BIOQUÍMICOS

3.5.1 Azúcares reductores y totales.

La sacarosa, la glucosa y la fructosa fueron los principales azúcares durante la fase E3 del desarrollo del fruto de Copoazú, siendo la sacarosa el azúcar predominante. La fructosa y la glucosa se incrementaron de manera significativa hacia el final de E3 ($p < 0,01$ y $p < 0,05$, respectivamente) y presentaron valores mínimos entre los 110 y los 117 días (Fig. 5A). La sacarosa presentó cambios

altamente significativos ($p < 0,0001$) a lo largo de E3: descendió hacia los 110 días, para luego aumentar en el momento del pico climatérico y continuar aumentando hacia el final de E3 (Fig. 2B y 5A).

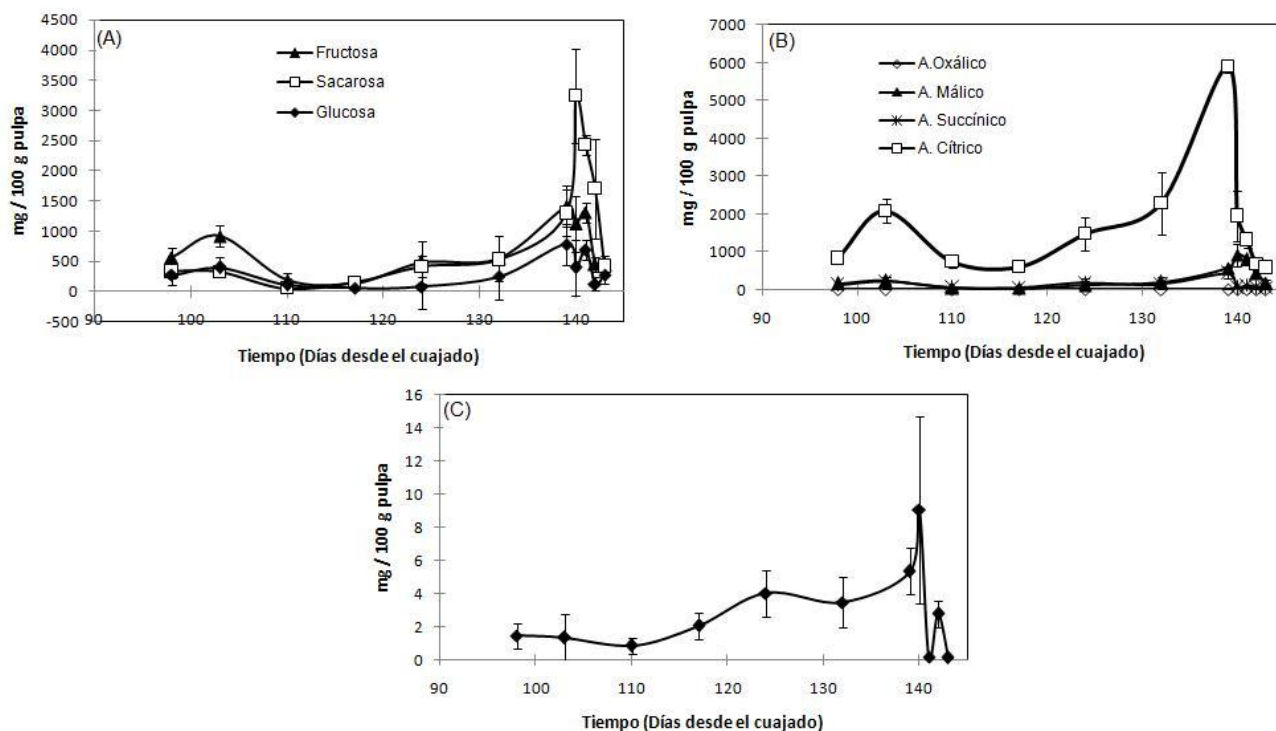


Fig. 5. Azúcares (A), Ácidos orgánicos (B) y Ácido ascórbico (C) durante la fase E3 del desarrollo del fruto de Copoazú. Las barras indican la desviación estándar ($n=3$). Las barras de desviación no son mostradas si el tamaño de la barra es más pequeño que el tamaño del símbolo.

Posterior a la abscisión natural del fruto la glucosa, la fructosa y la sacarosa en general fueron disminuyendo, aunque entre los 140 y los 141 días la glucosa y la fructosa aumentaron; ninguno de estos cambios fue significativo (Fig. 5A).

3.5.2 Ácidos orgánicos.

El ácido orgánico predominante en el Copoazú fue el ácido cítrico (5895 mg/100g pulpa), mientras que el ácido oxálico mostró las concentraciones más bajas (menor a 10 mg/100g pulpa) y no presentó cambios significativos (Fig. 5B). Los ácidos orgánicos mostraron un primer aumento alrededor de los 103 días, dicho aumento sólo fue significativo para el ácido cítrico ($p < 0,0001$) (Fig. 5B).

Entre los 110 y los 117 días los ácidos orgánicos descendieron, aunque sólo el ácido cítrico lo hizo de manera significativa (Fig. 5B). Durante el pico climatérico (124 días) el ácido cítrico se incrementó significativamente (Fig. 2B y 5B), para volver a hacerlo alrededor de los 132 días.

Hacia el final de E3 los ácidos málico, succínico y cítrico aumentaron significativamente ($p < 0,01$, $p < 0,05$ y $p < 0,0001$ respectivamente) (Fig. 5B). El ácido ascórbico presentó un leve descenso alrededor de los 110 días, para luego presentar dos aumentos, uno en el momento del pico climatérico (124 días) y un segundo aumento significativo ($p < 0,05$) a los 139 días (Fig. 2B y 5C). El comportamiento del pH y la ATT concuerda con el comportamiento de los ácidos orgánicos, pues la ATT disminuyó y el pH aumentó (Fig. 4A).

Posterior a la abscisión natural del fruto los ácidos orgánicos en general fueron disminuyendo, ninguno de estos cambios fue significativo (Fig. 5A y 5B). El ácido

ascórbico descendió significativamente ($p < 0,05$) entre los 140 y los 141 días, luego presentó un leve ascenso, y volvió a descender significativamente a los 143 días (Fig. 5C).

4. DISCUSIÓN

4.1 CRECIMIENTO DEL FRUTO

En el estudio realizado en Guaviare por Hernández *et al.* (2006) las tasas de crecimiento relativo del peso fresco y el peso seco fueron decrecientes entre los 60 y los 120 días. Entre los 120 y los 150 días el incremento no fue significativo y decreció hasta el final del desarrollo.

En el mismo estudio de Guaviare la tasa de crecimiento relativo del diámetro longitudinal fue decreciente con excepción de los intervalos comprendidos entre 120 y 150 días y entre 180 y 210 días, con el mayor incremento en este último lapso. Respecto al diámetro ecuatorial, la tasa de crecimiento relativo fue decreciente durante todo el período de crecimiento a excepción del tiempo comprendido desde la floración hasta los 60 días.

Para el actual estudio, el Copoazú siguió un modelo de crecimiento sigmoide simple durante el desarrollo del fruto, con un periodo de crecimiento de 139 días (20 semanas), el cual es 42% menor que los 240 días encontrados por Hernández y Galvis (1994) en el departamento del Guaviare (Amazonía nororiental colombiana) y los 240 días reportados por Hernández *et al.*, (2006). Sin embargo, este periodo de crecimiento coincide con el reporte de Rojas *et al.* (1998), quienes para condiciones de la amazonia occidental mencionan que la cosecha del copoazú se realiza aproximadamente 140 días después de haberse iniciado la

floración, una vez que el fruto cae naturalmente. Este reporte se acerca al de Calzavara *et al.* (1984) quienes mencionan que desde la floración hasta la maduración transcurren aproximadamente cuatro a cuatro meses y medio (120-135 días).

La diferencia en los tiempos de desarrollo entre la Amazonía nororiental (Guaviare) y la Amazonía occidental (Caquetá) puede ser según Barrera (2005) producto de factores climáticos y/o edad de la planta, pues tras la madurez fisiológica de ésta se inicia la etapa de senescencia la cual trae como consecuencia ciclos productivos de mayor duración.

Para ampliar lo antes mencionado Agustí (2008) menciona que a medida que se incrementa la temperatura se incrementa el tamaño y la velocidad de crecimiento del fruto durante los primeros estados de desarrollo, sin embargo el tamaño final del fruto no aumenta, aunque el fruto madura en un tiempo más corto. Un aumento en la irradiancia puede aumentar la velocidad de expansión del fruto pues aumenta la tasa fotosintética que gobierna el aporte de carbono al fruto en desarrollo. El estrés hídrico provoca un fuerte descenso en el peso fresco, pero no en el peso seco del fruto. El estado hídrico condiciona el crecimiento y fisiología de las hojas, tallos y raíces afectando la producción de frutos.

Los modelos de crecimiento del fruto de Copoazú para el Caquetá (Tabla 2) difieren de los modelos reportados previamente por Hernández y Galvis (1994) y Hernández *et al.* (2006), quienes emplearon tasas de crecimiento relativo. Los diámetros longitudinal y ecuatorial y el peso fresco se ajustaron a un modelo logístico, modelo que ya ha sido empleado para otros frutales como el arazá (Hernández *et al.*, 2007), los ajís amazónicos (Barrera *et al.*, 2008), las peras Abbé Fetel (Garriz *et al.*, 2005), entre otros.

En la etapa de crecimiento E1 el cambio en PF y PS se da como consecuencia del aumento celular; así mismo el cambio en DL y DE del fruto en esta misma etapa está asociado al proceso de división celular característica del inicio del crecimiento (Barrera, 2005). En la etapa de crecimiento E2 el aumento exponencial de todas las variables morfológicas está asociado a la elongación celular, la acumulación de sintetizados de reserva, el aumento del tamaño de las vacuolas y el comienzo de la acumulación de ácidos orgánicos, azúcares y otros componentes. Durante la etapa E3 se estabilizaron las dimensiones del fruto y el peso fresco, pero el peso seco continuó aumentando (Fig. 1D), incremento que puede estar asociado a la síntesis de compuestos de reserva (Barrera, 2005).

4.2 RESPIRACIÓN

La alta tasa respiratoria al comienzo del desarrollo (E1) también fue observada por Hernández y Galvis (1994) y Hernández *et al.* (2006) para Guaviare, sin embargo

el resultado del presente estudio es casi cuatro veces menor. La alta tasa respiratoria al comienzo E1 se debe a una alta degradación de sustancias por medio de reacciones de oxidación-reducción, asegurándose de esta manera un suministro adecuado de la energía necesaria para los procesos de desarrollo (crecimiento y diferenciación) y mantenimiento celular (Barceló *et al.*, 2005; Wills *et al.*, 1998).

Al comienzo E2 se presentó un climaterio de juvenilidad, que ha sido observado en ajís amazónicos (Barrera *et al.*, 2008) y en estudios previos para Copoazú (Hernández y Galvis, 1994; Hernández *et al.*, 2006) y puede sugerir un mecanismo que dispara procesos metabólicos que después generan los cambios asociados a la madurez fisiológica del fruto (Barrera *et al.*, 2008).

Hacia la mitad de E3 (124 días) se presentó un climaterio de respiración, este valor es 4,5 veces menor al reportado por Hernández y Galvis (1994) para Guaviare, allí se presentó 180 días después del cuajado del fruto. Es decir, el pico climatérico para el fruto de Copoazú en Caquetá se dio 56 días más temprano respecto al estudio desarrollado en San José del Guaviare. Esta diferencia puede deberse a factores climáticos, varietales y/o edad de la planta, pues tras la madurez fisiológica de ésta se inicia la etapa de senescencia la cual trae como consecuencia ciclos productivos de mayor duración.

La gran diferencia en los valores de intensidad respiratoria obtenidos para Caquetá respecto de los de Guaviare, puede estar relacionada con el método empleado para cuantificar esta variable. En Guaviare se empleó el método dinámico (Kader, 2002a) y en el presente estudio para Caquetá se utilizó el método estático (Kader, 2002a) con cromatografía de gases.

El comportamiento observado permite clasificar al Copoazú como un fruto climatérico, resultado que contrasta con estudios previos que lo clasificaron como no climatérico (Carazo y Palma, 1999). El patrón climatérico hace recomendable realizar la recolección 117 días después del cuajado, cuando el fruto ha alcanzado la madurez fisiológica, momento en el cual la intensidad respiratoria es mínima, justo antes del pico climatérico. Ya que como lo menciona Barceló *et al.* (2005) es el aumento en la respiración el acontecimiento que marca la transición entre la fase de crecimiento del fruto y la de envejecimiento.

El modelo respiratorio del Copoazú coincide con el del durazno, que presenta niveles similares de CO₂ en los tres estados de crecimiento (Seymour *et al.*, 1993). Teniendo en cuenta las categorías propuestas por Kader (2002b) el Copoazú puede ser clasificado como un fruto con una intensidad respiratoria extremadamente alta, aunque otros frutos presentan intensidades respiratorias más altas, tales como el arazá (Hernández *et al.*, 2007) y la acerola (Carrington y King, 2002). El comportamiento climatérico del Copoazú difiere de otros frutos del

género *Theobroma* como el cacao (Kader, 2002b; Kays y Paull, 2004) y el maraco (Casas, 1995; Hernández *et al.*, 2006), clasificados como no climatéricos.

La producción de etileno del Copoazú se asemeja a la del durazno, el cual en el estado E3 tardío alcanza o excede los $20\mu\text{L C}_2\text{H}_4.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ (Seymour *et al.*, 1993). También en el kiwi la producción de etileno comienza a incrementarse de manera tardía durante la madurez de consumo, alcanzando valores casi cuatro veces mayores a los encontrados en este estudio para Copoazú (60 a $80\mu\text{L C}_2\text{H}_4.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$) (Seymour *et al.*, 1993). Aunque para muchos frutos el desprendimiento de CO_2 sólo se produce cuando la producción de etileno supera un valor umbral, en algunos frutos como aguacate, chirimoya y mango, el incremento de la respiración precede a la síntesis de etileno (Agustí, 2008). Teniendo en cuenta las categorías propuestas por Kader (2002b) el Copoazú puede ser clasificado como un fruto con una velocidad de producción de etileno entre moderada y alta.

El incremento en la intensidad respiratoria después de los 139 días puede estar asociado a los procesos que se desencadenan a raíz de la producción de etileno y que conducen a la senescencia. El hecho de que algunos frutos no emitan etileno, puede estar asociado a que el cultivo del Copoazú aún es muy silvestre (comunicación personal M.S. Hernández, 2010).

Teniendo en cuenta la intensidad respiratoria extremadamente alta y la producción de etileno alta, el Copoazú es un fruto con alta perecibilidad, con una potencial vida de anaquel de 2 a 4 semanas, de acuerdo con las categorías establecidas por Kader (2002b).

4.3 COLOR

Ninguno de los componentes del color de la corteza, cambió significativamente durante E3. Por lo que el color externo del fruto no puede ser empleado como índice de cosecha, como ocurre con el árbol del pan (Worrell *et al.*, 1998).

En contraste con lo encontrado en este estudio Hernández y Galvis (1994) y Hernández *et al.* (2006) reportaron que el color de la corteza del fruto de Copoazú cambia de marrón oscuro a marrón claro en la maduración; es importante aclarar que en estos estudios no se realizó determinación cuantitativa del color que permitiera analizar estadísticamente los datos.

El cambio de color de la pulpa de blanco a amarillo crema durante E3 también fue observado por Hernández y Galvis (1994) y Hernández *et al.* (2006). Se han observado cambios en el color de la pulpa entre los estados iniciales de crecimiento y la madurez para otros frutos tales como el maraco (Casas, 1995; Hernández *et al.*, 2006) y el arazá (Galvis y Hernández, 1993).

A los 132 días ocurrió un incremento en la intensidad del color de la pulpa (C^*) cuando disminuyó H^* , este comportamiento del color también se ha observado en ají dulce cv. Dominó (Tadesse *et al.*, 2002). Es importante tener en cuenta que diferentes colores pueden tener un mismo valor de croma (C^*) y por tanto este no constituye un indicador de maduración adecuado, como se encontró en frutos de ají (López y Gómez, 2000).

El cambio en el color de la pulpa puede estar asociado a un incremento en la síntesis de carotenoides. Según Hobson (1999) y Kays y Paull (2004) en la mayoría de frutos, la conversión de cloroplastos a cromoplastos se acompaña de la síntesis de una o varias clases de pigmentos, normalmente antocianos o carotenoides y/o desenmascaramiento de estos pigmentos formados tempranamente en el desarrollo del fruto. Los carotenoides, principalmente xantofilas (Madrid *et al.*, 1999) son muy estables y permanecen inalterados en los tejidos aún en estados avanzados de la senescencia. Los antocianos, sustancias hidrosolubles, se localizan en la vacuola de las células de los frutos y diferentes azúcares se pueden unir en distintas posiciones con antocianidinas produciendo una amplia variedad de pigmentos. Los antocianos producen colores muy fuertes que enmascaran tanto a los carotenoides como a la clorofila (Rhodes, 1980; Wills *et al.*, 1998).

4.4 OTROS RASGOS DE CALIDAD

El descenso de la ATT y el aumento del pH durante el pico climatérico indican el consumo de parte de los ácidos orgánicos como sustrato respiratorio. El aumento de la ATT después de este evento indica nueva síntesis de ácidos orgánicos (Rodríguez, 2005). El descenso significativo del índice de madurez entre los 98 y los 110 días es consecuencia del aumento de la ATT y del comportamiento estable de los SST antes del pico climatérico, que sólo se incrementaron significativamente después de este punto. Este comportamiento de la ATT difiere del observado previamente para Copoazú (Hernández y Galvis, 1994; Hernández *et al.*, 2006) y para maraco (Casas, 1995; Hernández *et al.*, 2006), en donde la ATT disminuye al final de E3.

La fluctuación en la ATT y el comportamiento estable de los SST parecen indicar que se emplean más los ácidos que los azúcares para el proceso respiratorio. El incremento en los SST después del pico climatérico puede indicar que este proceso dispara un mecanismo de conversión de almidón en azúcares. El incremento de los SST y de los ácidos al finalizar el estado E3 también ha sido observado en guayaba (Bulk *et al.*, 1996; Mercado-Silva *et al.*, 1998) y feijoa (Rodríguez *et al.*, 2006).

La pulpa de copoazú presentó una ATT considerable y un pH más o menos estable, pero bajo. Según Salisbury y Ross (2006) el pH bajo puede estar

asociado con dos aspectos: 1) altos contenidos de ácidos almacenados por la vacuola y 2) con el crecimiento de las células, el cual necesita bajos niveles de pH.

El descenso en la acidez posterior a la cosecha puede ser debido a una rápida utilización de los ácidos en la respiración (Mercado-Silva *et al.*, 1998). El lychee presentó descenso en el contenido de ácido ascórbico durante el almacenamiento en 4 días sin importar el método de almacenamiento (Seymour *et al.*, 1993). En general, el descenso en el ácido ascórbico, los ácidos orgánicos, la glucosa, la fructosa y la sacarosa luego de la abscisión natural del fruto, se debe al proceso de respiración que realiza el fruto para obtener la energía que requiere para sus funciones metabólicas; comportamiento que concuerda con los resultados de este estudio, pues como se mencionó antes después de la abscisión la intensidad respiratoria del fruto de Copoazú se incrementó (Fig. 2C).

4.5 ATRIBUTOS DE CALIDAD BIOQUÍMICOS

Una semana antes de la madurez fisiológica (110 días) las cantidades de ácido ascórbico, ácidos orgánicos, glucosa, fructosa y sacarosa disminuyeron al mismo tiempo que se incrementó la intensidad respiratoria (Fig. 2B, 5A, 5B y 5C). Lo anterior sugiere que tanto los ácidos como los azúcares fueron usados como sustrato en la respiración, y así el fruto completó su desarrollo, este mismo comportamiento fue observado durante el crecimiento del fruto de feijoa en condiciones de la Vega (Cundinamarca) (Rodríguez, 2005).

El incremento en ácido ascórbico, ácidos orgánicos, glucosa, fructosa y sacarosa a partir de los 117 días después del cuajado puede deberse a nueva síntesis de ácidos orgánicos y al desdoblamiento de almidón en azúcares. El incremento de los ácidos ascórbico y cítrico durante y después del pico climatérico puede estar relacionado con una mayor síntesis de metabolitos intermedios que promueven la síntesis de precursores de estos dos ácidos (Mercado-Silva *et al.*, 1998).

Es probable que el incremento en el ácido ascórbico durante E3 esté relacionado con la protección del fruto de la oxidación durante el periodo de madurez de consumo, garantizando que el fruto no sufra daño. El hecho de que este ácido descienda durante la etapa de senescencia refuerza esta idea.

La sacarosa fue el azúcar predominante en el fruto de Copoazú, este resultado concuerda con lo reportado para la pulpa de copoazú por Rogez *et al.* (2004). La glucosa, la fructosa y la sacarosa aumentaron a medida que aumentaban los ácidos orgánicos, no es la tendencia habitual de los frutos tropicales climatéricos. Este comportamiento probablemente se deba al incremento en la importación de sustancias desde la hoja o a la movilización de reservas de almidón dentro del fruto (Seymour *et al.*, 1993). El incremento de ácidos orgánicos y azúcares hacia el final del desarrollo del fruto ha sido observado en guayaba (Bulk *et al.*, 1996; Mercado-Silva *et al.*, 1998), feijoa (Rodríguez *et al.*, 2006) y kiwi (Seymour *et al.*,

1993). En lychee los azúcares y el ácido ascórbico se incrementan durante la madurez de consumo (Seymour *et al.*, 1993). El incremento en los azúcares hacia el final del desarrollo, ha sido observado en Copoazú (Hernández y Galvis, 1994; Hernández *et al.*, 2006) y maraco (Casas, 1995; Hernández *et al.*, 2006).

Los ácidos orgánicos son una 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 (Hobson, 1999; Wills *et al.*, 1998). Según Kays y Paull (2004) los ácidos orgánicos juegan un papel central en el metabolismo de los frutos. Ellos constituyen componentes esenciales del ciclo respiratorio de los ácidos tricarbónicos y del ácido fosfoglicérico cuyo rol es esencial en la fotosíntesis. Además de constituir una fuente de energía también es muy importante su aporte significativo al sabor final de los frutos ya que son utilizados como esqueletos de carbono para la síntesis de nuevos compuestos. Su síntesis se lleva a cabo a través de oxidaciones y descarboxilaciones y en algunos casos carboxilaciones en la ruta respiratoria del ácido tricarbónico.

4.6 ANÁLISIS MULTIVARIADO DEL CRECIMIENTO DEL FRUTO DE COPOAZÚ

Se determinó la relación entre los atributos fisicoquímicos y bioquímicos durante el desarrollo del fruto usando análisis de correlación y análisis de componentes principales (ACP). La matriz de correlación (Tabla 3) mostró correlaciones positivas altísimamente significativas ($p \leq 0,0001$) entre:

- El ácido cítrico y todos los azúcares, los ácidos orgánicos (excepto oxálico) y los SST.
- La fructosa y la glucosa, los ácidos orgánicos.

También se observaron correlaciones positivas altamente significativas ($p \leq 0,01$)

entre:

- Los días después del cuajado (DDC) y el ácido ascórbico, ácido cítrico, C* de la pulpa, peso fresco y sacarosa.
- Los SST y la ATT y todos los azúcares.
- El ácido ascórbico y la sacarosa, C* y L* de la pulpa.
- El C* de la pulpa y el peso fresco y L* de la pulpa.

Como se puede ver en la Tabla 3 se observaron correlaciones negativas altamente significativas ($p \leq 0,01$) entre H* de la pulpa y C* y L* de la pulpa. Como se esperaba, la ATT se correlaciona negativamente de manera muy significativa ($p < 0,0001$) con el pH.

Tabla 5. Matriz de correlación de Pearson de las variables analizadas durante el estado E3 de crecimiento del fruto de Copoazú (n=21)

	ATT	AA	SST	C*	AC	DE	PF	F	G	H*	L*	DL	IM	AM	AO	IR	S	AS	pH	DDC	
ATT	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
AA	-0.09	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
SST	0.64**	0.19	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
C*	0.22	0.63**	-0.01	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
AC	0.44*	0.54*	0.78***	0.14	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
DE	-0.02	0.27	-0.28	0.49*	-0.19	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
PF	0.22	0.48*	-0.06	0.62**	0.18	0.25	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
F	0.19	0.27	0.60**	-0.28	0.85***	-0.33	-0.18	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
G	0.35	0.03	0.66**	-0.31	0.77***	-0.38	-0.14	0.85***	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
H*	-0.01	-0.40	0.05	-0.66**	0.25	-0.40	-0.23	0.55*	0.64**	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
L*	-0.29	0.67**	-0.18	0.62**	-0.06	0.36	0.36	-0.29	-0.48*	-0.71**	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
DL	0.02	0.06	-0.01	0.06	-0.05	-0.15	0.49*	-0.24	0.04	-0.08	0.06	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--
IM	-0.38	0.20	0.43	-0.32	0.29	-0.40	-0.39	0.39	0.30	-0.03	0.14	-0.01	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--
AM	0.32	0.46*	0.75**	-0.03	0.93***	-0.30	-0.07	0.91***	0.79***	0.30	-0.15	-0.21	0.42	1.0	--	--	--	--	--	--	--
AO	0.26	-0.03	0.47*	-0.35	0.64*	-0.42	-0.05	0.75***	0.72**	0.62**	-0.40	0.01	0.18	0.55*	1.0	--	--	--	--	--	--
IR	-0.29	0.13	-0.39	0.10	-0.24	-0.10	0.18	-0.21	-0.41	-0.08	0.36	-0.11	-0.14	-0.26	-0.26	1.0	--	--	--	--	--
S	0.26	0.74**	0.66**	0.35	0.88***	0.04	0.14	0.68**	0.56**	-0.04	0.15	-0.12	0.34	0.87***	0.26	-0.21	1.0	--	--	--	--
AS	0.15	0.35	0.53*	-0.16	0.84***	-0.42	-0.04	0.94***	0.83***	0.52*	-0.22	-0.11	0.34	0.87***	0.72**	-0.05	0.66**	1.0	--	--	--
pH	-0.77***	0.47*	-0.50*	0.24	-0.27	0.20	0.11	-0.32	-0.48*	-0.40	0.64**	0.09	0.28	-0.23	-0.44	0.18	0.01	-0.27	1.0	--	--
DDC	0.36	0.72**	0.40	0.68**	0.63**	0.23	0.61**	0.24	0.21	-0.22	0.47*	0.11	-0.08	0.42	0.18	0.10	0.62**	0.36	-0.02	1.0	--

*, **, *** Significancia a $p=0,05$ ó $p=0,01$ ó $p=0,0001$, respectivamente.

ATT, acidez total titulable (%Ac. Cítrico); AA, ácido ascórbico (mg/100g pulpa); SST, sólidos solubles totales (°Brix); C* croma de la pulpa; AC, ácido cítrico (mg/100g pulpa); DE, diámetro ecuatorial (cm); PF, peso fresco (g); F, fructosa (mg/100g pulpa); G, glucosa (mg/100g pulpa); H*, ángulo Hue de la pulpa; L* luminosidad de la pulpa; DL, diámetro longitudinal (cm); IM, índice de madurez; AM, ácido málico (mg/100g pulpa); AO, ácido oxálico (mg/100g pulpa); IR, intensidad respiratoria ($\text{mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$); S, sacarosa (mg/100g pulpa); AS, ácido succínico (mg/100g pulpa); DDC, días después del cuajado (días)

Tres componentes principales fueron identificados por el ACP, los cuales explicaron el 72,6% de la varianza total. El primer componente principal (CP1), que explica el 37% de la varianza, discriminó los frutos por cambios en los rasgos de calidad bioquímicos, pues relacionó positivamente los azúcares reductores (glucosa y fructosa) con los tres principales ácidos orgánicos. El segundo componente principal (CP2), explica el 23,2% de la varianza, discriminó los frutos por color de la pulpa y acumulación de ácido ascórbico a lo largo del tiempo, relacionando positivamente los DDC con el ácido ascórbico, L^* y C^* de la pulpa, y negativamente el H^* de la pulpa. El tercer componente principal (CP3), explica el 12,4% de la varianza, discriminó los frutos por índice de madurez, relacionando positivamente la ATT y negativamente el índice de madurez y el pH. El ACP identificó dos componentes menores adicionales que explicaron el 7,6% y el 6,6% de la varianza, respectivamente

5. CONCLUSIONES

En las condiciones climáticas de la granja “Estefanía” ubicada en el kilómetro 3 de la vía a Neiva, en la vereda la primavera del municipio de Florencia, el fruto de Copoazú alcanza la madurez fisiológica a los 117 días después del cuajado. Todos los rasgos morfológicos exhibieron un modelo de crecimiento simple sigmoide.

El fruto de Copoazú se comportó como un fruto climatérico, con un pico de actividad respiratoria de $156,24 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, que se presentó a los 124 días después del cuajado del fruto. Sin embargo, no se presentó emisión detectable de etileno en la precosecha.

Ninguno de los componentes del color de la corteza, cambió significativamente durante E3. Por lo que el color externo del fruto no puede ser empleado como índice de cosecha. La pulpa si cambió de blanca a amarillo crema a medida que el fruto completa su desarrollo, por lo que su color puede ser empleado como índice de cosecha.

El ácido predominante en el Copoazú fue el ácido cítrico y el azúcar predominante fue la sacarosa. Durante el estado E3 la glucosa, la fructosa y la sacarosa aumentaron a medida que aumentaban los ácidos orgánicos, alcanzando sus

máximos valores entre los 139 y los 140 días después del cuajado. Este comportamiento probablemente se deba al incremento en la importación de sustancias desde las hojas.

Los frutos de Copoazú después de la abscisión natural presentaron disminución de todas las variables fisicoquímicas y bioquímicas, incremento en la intensidad respiratoria y emisión tardía de etileno, aunque no en todos los frutos. Los niveles de producción de etileno medidos en $\mu\text{L C}_2\text{H}_4.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ oscilaron entre 6,23 μL a los 139 días y 16,47 μL a los 143 días

Los índices de cosecha para el Copoazú en la Amazonía occidental colombiana pueden ser los días después del cuajado del fruto (117 días), un color de la pulpa alrededor de $H^* = 97^\circ$ y un valor de sólidos solubles totales de al menos 5,7°Brix.

6. RECOMENDACIONES

En los futuros estudios sobre crecimiento y desarrollo del fruto de Copoazú, evaluar variables tales como: color externo del fruto unido a la planta, contenido de almidón de la pulpa, peso y número de semillas, enzimas y beta-caroteno presentes en la pulpa.

BIBLIOGRAFÍA

- Addison, G. y Tavares, R. 1951. Observações sobre as espécies do gênero *Theobroma* que ocorrem na Amazônia. IAN. Boletim Técnico, 25. Belém. 42 p.
- Aguiar F., M. de y Lleras, E. 1983. Aspectos fenológicos, ecológicos e de productividad do copoaçu- *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum. En: Acta Amazônica 13 (5-6):725-735.
- Agustí, M. 2008. Crecimiento y maduración del fruto. En: Azcón-Bieto, J. y Talón, M. (eds.). Fisiología y bioquímica vegetal. 2a ed. Interamericana Mc-Graw-Hill, Madrid, p. 419-433.
- Alves, S. y Jennings W. 1979. Volatile composition of certain Amazonian fruits. Food Chemistry 4: 49-159.
- Analytical Software, 2008. STATISTIX for Windows Versión 9. Tallahassee, FL, USA.
- Argüello, H. y Bolaños, C. 1999. Obtención de frutos de buena calidad y procesamiento de Copoazú (*Theobroma grandiflorum*). Universidad Nacional de Colombia, sede Leticia. IMANI. AMUC. PRONATTA. 24 p.
- Azevedo, A., Kopcak, U. y Mohamed, R. 2003. Extraction of fat from fermented Cupuaçu seeds with supercritical solvents. The Journal of Supercritical Fluids 27 (2): 223-237.

- Barbosa, W., Nazaré, R. y Nagata, I. 1979. Estudios físicos e químicos dos frutos: bacuri (*Platonia insignis*), cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) e muruci (*Byrsonima crassifolia*). In: Congresso Brasileiro de Fruticultura 5, Pelotas, RS. Anais Pelotas: SBF, p. 797-809.
- Barceló C., J., Nicolás R., Sabater G., B. y Sánchez T., R. 2005. Fisiología Vegetal. Ediciones Pirámide, Madrid. p. 505-524.
- Barrera, J.A. 2005. Caracterización fisiológica y bioquímica de los frutos de cuatro accesiones de ají amazónico pertenecientes a la diversidad del género *Capsicum* para su conservación y uso. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 116 p.
- Barrera, J.A. 1994. Prefactibilidad técnico-económica para la producción y procesamiento del Araza (*Eugenia stipitata* Mc.Vaugh) y del Copoazú (*Theobroma grandiflorum* Willd ex Spreng), en la zona de colonización de San José del Guaviare. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 178 p.
- Barrera, J.A., Hernández, M.S., Quicazán, M.C., Melgarejo, L.M., Hernández, C., León, A. Parra, J. y Montealegre, Y. 2006a. Aprovechamiento integral de las almendras de los frutos de especies promisorias del género *Theobroma*, bajo condiciones de la Amazonía colombiana. En: Melgarejo, L.M.; Hernández, M.S.; Barrera, J.A. y Carrillo, M. (eds). 2006. "Theobroma: Oferta y potencialidades de un banco de germoplasma del género *Theobroma* en el enriquecimiento de los sistemas productivos de la región amazónica." Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas-

SINCHI, Universidad Nacional de Colombia-dpto. Biología. 1ª. Edición, Ed. Scripto Ltda., Bogotá. p. 137-184.

Barrera, J.A., Hernández, M.S., Vargas A., G., Martínez, O., Melgarejo, L.M., Casas, A.E., Zambrano, J.E. y Bedoya, C.D. 2006b. Caracterización del crecimiento y desarrollo vegetativo de especies promisorias del género *Theobroma*, bajo condiciones de la Amazonía colombiana. En: Melgarejo, L.M.; Hernández, M.S.; Barrera, J.A. y Carrillo, M. (eds). 2006. "Theobroma: Oferta y potencialidades de un banco de germoplasma del género *Theobroma* en el enriquecimiento de los sistemas productivos de la región amazónica." Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas-SINCHI, Universidad Nacional de Colombia-dpto. Biología. 1ª. Edición, Ed. Scripto Ltda., Bogotá. p. 65-105.

Barrera, J., Carrillo, M., Hernández, M., Melgarejo, L., Quicazán, M., León, A., Hernández, C., Parra, J. y Montealegre, Y. 2006c. Potencialidades y aprovechamiento de especies promisorias del género *Theobroma* en la amazonía colombiana. En: Salamanca, G. (ed.). Propiedades fisicoquímicas y sistemas de procesado Editora Guadalupe, Bogotá. p. 342-347.

Barrera, J.A., Hernández, M.S., Melgarejo, L.M., Martínez, O. y Fernández-Trujillo, J.P.. 2008. Physiological behavior and quality traits during fruit growth and ripening of four Amazonic hot pepper accessions. Journal of the Science of Food and Agriculture 88: 847-857.

- Boulanger, R. y Crouzet, J. 2000. Free and bound flavour components of Amazonian fruits 3-glycosidically bound components of cupuacu. *Food Chemistry* 70 (4): 463-470.
- Bulk, R.E.E.; Babiker, E.F.E. y Tinay, A.H.E. 1996. Changes in chemical composition of guava fruits during development and ripening. *Food Chemistry* 59 (3): 395-399.
- Calzavara, B.G., Müller, C.H. y Kahwage, O. 1984. Fruticultura tropical: O cupuçuzeiro, cultivo, beneficiamento e utilização do fruto. Belém, Para: Embrapa-CPATU, p. 7-13, 59-62.
- Carazo, V. y Palma, V. 1999. Copoasu [*Theobroma grandiflorum* (Willd.Ex Spreng) Shum.]: Cultivo y utilización. Manual técnico. TCA. Tratado de Cooperación Amazónica. Secretaría Protempore Venezuela y FAO. Embrapa-Amazonía Oriental Belem, Brasil. 142 p.
- Carrillo, M.P. 2005. Informe técnico del ensayo de conservación del fruto de arazá en poscosecha con 1-MCP en condiciones de Florencia Caquetá. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. Bogotá.
- Carrillo, M.P., Barrera, J.A., Hernández, M.S., Melgarejo, L.M., Barón, M., Villada, W.A., Pérez, J.E., Cruz, F., Barrera, A. y Rodríguez, O. 2006. Otras aplicaciones. En: Melgarejo, L.M.; Hernández, M.S.; Barrera, J.A. y Carrillo, M. (eds). 2006. "*Theobroma*: Oferta y potencialidades de un banco de germoplasma del género *Theobroma* en el enriquecimiento de los sistemas productivos de la región amazónica." Instituto Amazónico de

- Investigaciones Científicas-SINCHI, Universidad Nacional de Colombia-
dpto. Biología. 1ª. Edición, Ed. Scripto Ltda., Bogotá. p. 185-223.
- Carrington, C.M.S. y King, R.A.G. 2002. Fruit development and ripening in
Barbados cherry, *Malpighia emarginata* DC. *Scientia Horticulturae* 92: 1–7.
- Casas, A. 1995. Análisis de crecimiento del fruto y determinación del momento de
cosecha del Maraco (*Theobroma bicolor* H.B.K.). Trabajo de grado.
Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. 108 p.
- Chaar, J.M. 1980. Composição do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.) e
conservação de seu néctar por meios físicos e químicos. Tese de
Mestrado. Rio de Janeiro. 87 p.
- Costa, M.C., Arraes Maia, G., Souza Filho M. de S.M., de Figueiredo, R.W., Tiek
Nassu, R. y Sabino Monteiro, J.C. 2003. Conservação de polpa de
cupuaçu [*Theobroma grandiflorum* (Willd. Ex Spreng.) Schum] por
métodos combinados. *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal–SP* 25(2): 213-215.
- CPATU. Centro de Pesquisa Agropecuaria do Tropicó Umido. 1990. Sistema
reproductivo de especies nativas da Amazonia. En: *Relatorio Tecnico
Anual do Centro de Pesquisa Agroforestal da Amazonia Oriental*. Belém.
p. 89-91.
- Cruz, F. 1996. Determinación de algunas propiedades físico-mecánicas y químicas
de la semilla de Copoazú (*Theobroma grandiflorum* Willd Ex Spreng
Schum) y obtención de pasta de Copoazú. Trabajo de grado. Facultad de
Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 86 p.

- Diniz, T., Silva, M., Bastos, T., Müller, C., Kawage, O. y Rodrigues, I. 1983. Fatores meteorológicos e a produtividade da castanha-do-brasil, cupuaçu e bacuri. Relatório Técnico Anual do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido, Belém. p.40-43.
- Ducke, A. 1953. As espécies brasileiras do gênero *Theobroma* L. Belém: IAN. Boletim Técnico No. 56 p. 3-20.
- Duran, S. 1982. Frigoconservación de la fruta. Editorial Aedos, Barcelona. p. 9 - 128.
- ECORAE. Instituto para el Ecodesarrollo Regional Amazónico. 2001. Compendio de recomendaciones tecnológicas para los principales cultivos de la Amazonia Ecuatoriana. Quito, Ecuador: OEA. INIAP. GTZ. 174 p.
- Fajardo, M. y Murcia, S. 1998. Determinación del momento óptimo de cosecha y elaboración de productos osmodeshidratados de la cocona (*Solanum sessiliflorum* dunal) en el piedemonte caqueteño. Trabajo de grado. Facultad de Ingeniería. Universidad de la Salle. Bogotá. 162 p.
- Falção, M., Morais, R. y Clement, C. 1999. Influencia da vassoura de bruxa na fenologia do cupuaçuzeiro. En: Acta Amazônica 29 (1):13-19. Manaus: INPA.
- Fraife Filho, G., Ramos, J., Moura, J. y Leite, J. 1984. Avaliação de genótipos de cupuaçuzeiro na região sudeste da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, No. 15. Poços de Caldas, MG. Resumos... Lavras: UFLA. p.334.

- Galvis, A. y Hernández, M.S. 1993. Análisis del crecimiento del fruto y determinación del momento de cosecha del arazá (*Eugenia stipitata*). Corporación Colombiana para la Amazonia – Araracuara. COA. Colombia Amazónica. 6 (2): 107-121.
- García, C. 1995. Proyecto de mercadeo de siete productos en el Departamento del Guaviare. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas-SINCHI. San José del Guaviare. 79 p.
- Garriz, P.I., Alvarez, H.L. y Colavita, G.M. 2005. Growth pattern of ‘Abbé Fetel’ pear fruits. Acta Hort. 674: 321-327.
- Gomes, W. 1988. Gordura de copoaçu: sucedâneo de manteiga de cacao. São Paulo: Universidade de São Paulo. 124 p.
- González, V. 2000. Análisis del desarrollo de la faes reproductiva y determinación de parámetros de recolección de la Carambola (*Averrhoa carambola*) variedad ácida, producida en el piedemonte amazónico colombiano. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 121 p.
- Grange, R. 1999. Crecimiento del fruto. En: Azcón-Bieto, J. y Talón, M. (eds.). Fisiología y bioquímica vegetal. 5a ed. Interamericana Mc-Graw-Hill, Madrid, p. 449-462.
- Guerrero, D.C., Barrera, J., Hernández, M.S. y Vargas, G. 2007. Análisis de crecimiento durante la fase vegetativa de cinco fenotipos de Copoazú *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng) Schum. en la amazonía

- occidental colombiana. En: Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 1 (1): 52-66.
- Hernández, M.S. y Barrera, J. 2000. Manejo poscosecha y transformación de frutales nativos promisorios en la Amazonía colombiana. Instituto SINCHI. Ministerio del Medio Ambiente. PRONATTA. 63 p.
- Hernández, M.S. y Barrera, J. 2001. Proyecto Investigación en el manejo y transformación de frutos de la región amazónica. Instituto SINCHI. Ministerio del Medio Ambiente. 27 p.
- Hernández, M.S. y Galvis, A. 1994. Análisis de crecimiento del fruto y determinación del momento de cosecha del Copoazú. En: Colombia Amazónica 7 (1-2): 157-167. Corporación Colombiana para la Amazonia – Araracuara. COA.
- Hernández, M.S. y Galvis, A. 1993. Procesamiento de arazá y Copoazú. Corporación Colombiana para la Amazonia – Araracuara. COA. Colombia Amazónica 6 (2): 135-148.
- Hernández L., C.E. y León N., A.D. 2003. Evaluación de las etapas de fermentación y secado del proceso de beneficio de semillas de Copoazú (*Theobroma grandiflorum* Wild ex Spreng Schum). Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 122 p.
- Hernández, M.S., Barrera, J.A., Carrillo, M., Martínez, O., Melgarejo, L.M., Galvis, J.A., Casas, A.E. y Bolaños, C. 2006. Crecimiento y desarrollo de los frutos de especies promisorias del género *Theobroma*, bajo condiciones de la Amazonía norte colombiana. En: Melgarejo, L.M.; Hernández, M.S.;

- Barrera, J.A. y Carrillo, M. (eds). 2006. "Theobroma: Oferta y potencialidades de un banco de germoplasma del género *Theobroma* en el enriquecimiento de los sistemas productivos de la región amazónica." Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas-SINCHI, Universidad Nacional de Colombia-dpto. Biología. 1ª. Edición, Ed. Scripto Ltda., Bogotá. p. 107-136.
- Hernández, M.S., Martínez, O. y Fernández-Trujillo, J.P. 2007. Behavior of arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) fruit quality traits during growth, development and ripening. *Scientia Horticulturae* 111: 220–227.
- Herrero, A. 1995. Conservación de frutos. Manual Técnico. Editorial Mundiprensa, Madrid. 409 p.
- Hobson, G. 1999. Maduración del fruto. En: Azcón-Bieto, J. y Talón, M. (eds.). Fisiología y bioquímica vegetal. 5a ed. Interamericana Mc-Graw-Hill, Madrid, p. 463-478.
- IPEAN. Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuarias do Norte. 1980. Cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*, Schum). p. 79-84.
- Itauran, S. y Amorim, A. 1991. Biología e fisiología de *Crinipellis pernicioso* do cupuaçuzeiro, em relação a fisiopatología. En: Relatório Técnico Anual do Centro de Pesquisa Agroforestal da Amazônia Oriental. Belém. p. 229-231.
- Jativa, M. 1996. Frutales amazónicos en el Ecuador. TCA. Tratado de Cooperación Amazónica. 15 p.

- Kader, A.A., 2002a. Methods of gas mixing, sampling and analysis. En: Kader, A.A. (ed.) Publ. 3311 Postharvest technology of horticultural crops. Univ. California, Berkeley, CA, p. 145-148.
- Kader, A.A., 2002b. Postharvest biology and technology: An overview. En: Kader, A.A. (ed.) Publ. 3311 Postharvest technology of horticultural crops. Univ. California, Berkeley, CA, p. 39-47.
- Kays, S.J. y Paull R.E. 2004. Postharvest Biology. Exon Press, Athens Georgia, USA. 568 p.
- Lannes, S.C.S., Medeiros, M.L. y Gioielli, L.A. 2004. Rheological properties of cupuassu and cocoa fats. *Grasas y Aceites* 55 (2): 115-121.
- López, A. F. 2003. Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas: Del campo al mercado. Boletín de servicios agrícolas de la FAO No. 151. Roma. [Citado 7 Jun 2007]; [25 pantallas]. Disponible en: URL: <http://www.fao.org/DOCREP/006/Y4893S/y4893s04.htm>
- López, A.F. y Gómez, P.A. 2000. Developing a ripening index for bell peppers based on color measurements. En: Improving postharvest technologies of fruits vegetables and ornamentals. Murcia, España. Vol I: 48-53.
- Lozano, J.C. y Rozo, L.A. 1997. Extracción y caracterización fisicoquímica de los aceites contenidos en las semillas de Copoazú y maraco y su posible utilización como fuentes alternativas en la industria de los aceites comestibles. Trabajo de grado. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 107 p.

- Madrid, R., Navarro, F., Collados, I., Egea, C. y Alarcón, A.L. 1999. Development of colour in red pepper fruits in soilless culture. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 74: 175-180.
- Mendes, A.C., Magalhaes, B.P. y Ohashi, O.S. 1997. Biology of *Conotrachelus humeropictus*, Fiedler, 1940. (Coleoptera: Curculionidae), pest of Cocoa and Cupuassu fruits in Brazilian Amazon. En: *Acta Amazônica*. Vol. 27. No. 2. Manaus, Brasil: Instituto Nacional de Pesca de la Amazonia (INPA). p. 135-144.
- Mercado-Silva, E., Benito-Bautista, P. y García-Velasco, M. de A. 1998. Fruit development, harvest index and ripening changes of guavas produced in central Mexico. *Postharvest Biology and Technology* 13: 143–150.
- Ministério da Educação, Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. 2007. Cupuaçu. Thematic Pamphlets, Brasília, 28 p. <http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf3/publica_setec_cupuacu.pdf/> Acceso: 11.05.2010.
- Moreno, Y., Melgarejo, L.M., Hernández, M.S., Quintero, L. y Vargas, G. 2006. Caracterización molecular de accesiones del banco de germoplasma del género *Theobroma* de la región amazónica colombiana. En: Melgarejo, L.M.; Hernández, M.S.; Barrera, J.A. y Carrillo, M. (eds). 2006. "Theobroma: Oferta y potencialidades de un banco de germoplasma del género *Theobroma* en el enriquecimiento de los sistemas productivos de la región amazónica." Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas-

- SINCHI, Universidad Nacional de Colombia-dpto. Biología. 1ª. Edición, Ed. Scripto Ltda., Bogotá. p. 13-63.
- Moreno, Y., Melgarejo, L.M., Hernández, M.S., Quintero, L. y Vargas, G. 2004. Caracterización molecular de accesiones del banco de germoplasma del género *Theobroma* mediante la técnica RAPD. Revista colombiana de biotecnología 6 (2): 15-24.
- Müller, C., Calzavara, B., Kahwage, O., Viégas, R., Kato, A. y Guimarães, P. 1984. Enxertia de gema em cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* Schum.). In: Simpósio do trópico úmido No.1, Belém, PA. Anais. Brasília: Embrapa-DDT, 1986a. p. 232-235.
- Oliveira, A., Pereira, N., Marsaioli, A. y Augusto, F. 2004. Studies on the aroma of cupuassu liquor by headspace solid-phase microextraction and gas chromatography. Journal of Chromatography A 1025 (1): 115-124.
- Philocreon, N.1962. Frutos comestíveis do Brasil. An. Farm. Quim., São Paulo, v.13, n.11/12, p. 89-91.
- Pulido, P. 2000. Desarrollo reproductivo de la piña nativa en el piedemonte Amazónico Colombiano y su respuesta a la inducción con etileno. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad de los Andes. Bogotá. 97 p.
- Quijano, C.E. y Pino, J.A. 2007. Volatile compounds of copoazú (*Theobroma grandiflorum* Schumann) fruit. Food Chemistry 104 (3): 1123-1126.
- Rhodes, M.J.C. 1980. The maturity and ripening of fruits. En: Thimann, K.V. (ed.), Senescence in Plants. CRC Press, Boca Ratón, Fl, p. 157-205.

- Rodríguez, M. 2005. Estudio del crecimiento y desarrollo, y de la maduración del fruto de Feijoa (*Acca sellowiana*, Berg) en los clones 41 (Quimba) y 8-4 en condiciones del municipio de la Vega (Cundinamarca). Tesis de maestría. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. 97 p.
- Rodríguez, M., Arjona, H.E. y Campos, H.A. 2006. Caracterización fisicoquímica del crecimiento y desarrollo de los frutos de feijoa (*Acca sellowiana* Berg) en los clones 41 (Quimba) y 8-4. *Agronomía Colombiana* 24(1): 54-61.
- Rogez, H., Buxant, R., Mignolet, R., Souza, J.N. S., Silva, E.M. y Larondelle, Y. 2004. Chemical composition of the pulp of three typical Amazonian fruits: araça-boi (*Eugenia stipitata*), bacuri (*Platonia insignis*) and cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*). *Eur. Food Res. Technol.* 218:380–384.
- Rojas, S., Zapata, J., Pereira, A., Varón, E., Cardenas, C. y Cadena, F. 1998. El cultivo de copoazú (*Theobroma grandiflorum*) en el piedemonte amazónico colombiano. 2ª. Ed. Corpoica-Fondo Amazónico. Florencia, Caquetá, Colombia. 17 p.
- Salinas, C. 1995. Deshidratación del Copoazú (*Theobroma grandiflorum* Willd. ex Spreng Schum) por los métodos de rodillos y aire caliente y su almacenamiento. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. 102 p.

- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 2006. Fisiología de las plantas: desarrollo de las plantas y fisiología ambiental. Vol 3. Thompson Editores Spain, Paraninfo, Madrid. pp. 529-562.
- Santos, I. y Condurú, J. 1972. Comparação de rendimento entre frutos de duas variedades de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* Schum). IPEAN. Comunicado, 31. Belém. 8p.
- Seymour, G.B.; Taylor, J.E. y Tucker, G.A. 1993. Biochemistry of fruit ripening. Chapman y Hall, Plymouth, U.K. 464 p.
- Souza, A., Silva, S., Tinoco, P.B., Guimarães, R.R. y Sá Sobrinho, A.F. 1998. Estudo preliminar da cadeia productiva do copoaçu (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng) Schum.) no Amazonas. Manaus: EMBRAPA-CPAA. 30 p. (EMBRAPA-CPAA Documentos, 17)
- Statgraphics plus 5.0. 2000. Statistical Graphics Corp. Rockville, MA, USA.
- Tadesse, T., Hewett, E., Nichols, M.A. y Fisher, K.J. 2002. Changes in physicochemical attributes of sweet pepper cv. Domino during fruit growth and development. *Scientia Horticulturae* 93: 91-103.
- Taiz, L. y Zeiger, E. 2010. *Plant Physiology*. (5th ed.). Sinauer Associates, Inc., Publishers. Sunderland, Massachusetts, 782 p.
- TCA. Tratado de Cooperación Amazónica. 1996. Programa regional de promoción de la producción sostenible y utilización de frutas y hortalizas amazonicas: Estrategias y acciones. Lima (Perú). Secretaría Pro-Tempore 268 p.

- Vargas, G. 1988. Memoria técnica. Ensayos agronómicos granja experimental San Jose del Guaviare. Bogota: Corporación Araracuara. Proyecto DAINCO-CASAM 80 p.
- Vargas, G. y Argüelles, J. 2000. Clasificación y caracterización morfoagronómica del germoplasma de cinco especies frutales amazónicas. Instituto Amazónico de investigaciones científicas, SINCHI. San José del Guaviare, Colombia. 28 p.
- Venturieri, G. 1993. Cupuaçu: a espécie, sua cultura, usos e processamento. Belém: Clube do cupu. Brasil. 109 p.
- Venturieri, G. 1989. Variabilidade em plantas jovens de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (Willdenow ex Sprengel) Shumann) estimada por descritores morfológicos e isoenzimáticos e sua utilização em caracterização de germoplasma. Manaus AM.: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Fundação Universidade do Amazonas. 98 p.
- Venturieri, G. y Braz, M.L. 1984. A cultura do cupuaçuzeiro. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisa Agropecuaria. 19 p.
- Venturieri, G. y Lopes J. 1988. Composição do chocolate caseiro de amêndoas de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Willd ex Spreng Schum). Acta Amazônica 18 (1-2): 3-8.
- Vieira, C.M., Teixeira, A.A. y Silva, C.L.M. 2000. Mathematical modeling of the thermal degradation kinetics of vitamin C in cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) nectar. Journal of Food Engineering 43: 1-7.

- Vieira, M., Teixeira, A., Silva, F., Gaspara, N. y Silva, C. 2002. *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores as a target for Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) nectar thermal processing: kinetic parameters and experimental methods. *International Journal of Food Microbiology* 77 (1-2): 71-81.
- Vriesmann, L.C., y de Oliveira Petkowicz, C.L. 2009. Polysaccharides from the pulp of cupuassu (*Theobroma grandiflorum*): Structural characterization of a pectic fraction. *Carbohydrate Polymers* 77: 72–79.
- Vriesmann, L.C., Silveira, J.L.M. y de Oliveira Petkowicz, C.L. 2009. Chemical and rheological properties of a starch-rich fraction from the pulp of the fruit cupuassu (*Theobroma grandiflorum*). *Materials Science and Engineering C* 29: 651–656.
- Vriesmann, L.C., Silveira, J.L.M. y de Oliveira Petkowicz, C.L. 2010. Rheological behavior of a pectic fraction from the pulp of cupuassu (*Theobroma grandiflorum*). *Carbohydrate Polymers* 79: 312–317.
- Wills, R., Glasson, B., Graham, D. y Joy, D. 1998. *Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals*. (4th ed.). CAB International, Wallingford, Oxon, U.K. p. 33-59.
- Worrell, D.B., Carringtona, C.M.S., Huber, D.J. 1998. Growth, maturation and ripening of breadfruit, *Artocarpus altilis* (Park.) Fosb. *Scientia Horticulturae* 76: 17-28.