

Caracterización física, morfológica y evaluación de las curvas de empastamiento de musáceas (*Musa* spp.)

Physical, morphological characterization and evaluation of pasting curves of *Musa* spp.

Javier Darío Hoyos-Leyva^{1,2}, Paula Andrea Jaramillo-Jiménez², Andres Giraldo-Toro³, Dominique Dufour^{3,4}, Teresa Sánchez³, y Juan Carlos Lucas-Aguirre^{5*}

¹Federación Nacional de Plataneros, Fedeplatano, Hacienda Las Vegas, Chinchiná, Colombia. ²Programa de Ingeniería Agroindustrial, Universidad La Gran Colombia seccional Armenia, Facultad de Ingeniería, Armenia, Quindío, Colombia.

³CIAT, Km17 Recta Cali-Palmira, A.A. 6713, Cali, Colombia. ⁴CIRAD-PERSYST, UMR Qualisud, Montpellier Cedex 5, Francia.

⁵Profesor Asistente, Universidad del Quindío, Facultad de Ciencias Agroindustriales, Programa de Ingeniería de Alimentos. Armenia, Quindío, Colombia. *Autor para correspondencia: jclucas@uniquindio.edu.co, jlucasaguirre@gmail.com

Rec.: 25.10.11 Acept.: 31.07.12

Resumen

Se caracterizaron veinte variedades de musáceas de diferente composición genética: AB, BB, AAA, AAB, ABB, AAAA y AAAB, del Banco de Germoplasma existente en la hacienda Las Vegas, de Fedeplátano, Chinchiná (1360 m.s.n.m., 4° 58' N y 75° 20' O), Colombia. La caracterización incluyó propiedades físicas como peso, diámetro, longitud, materia seca y porcentaje de cáscara del fruto y propiedades funcionales como harinas y almidones. El análisis de componentes principales (ACP) mostró que las variedades de plátano se diferencian por su mayor tamaño (peso, longitud y diámetro). M. B. Tani, ICAFHIA 110, Saba, y los plátanos del subgrupo Bluggoe tuvieron altos porcentajes de cáscara. Entre los demás clones no se observaron diferencias entre sí. Los plátanos de cocción del subgrupo Plantain presentaron el mayor contenido de materia seca. Bocadillo Chileno e híbridos postre (exceptuando FHIA-1), presentaron mayor contenido de fracción comestible frente a las demás variedades. La temperatura de inicio de gelatinización de las harinas en el RVA varió entre 66.58 °C para la variedad Bocadillo Chileno y 75.21 °C para Mbindi. La viscosidad máxima varió entre 441.57 y 1837.17 cP para las variedades Tafetán Rojo y Dwarf Cavendish, respectivamente. La facilidad de cocción varió entre 2.76 min en Bocadillo Chileno y 7.55 min en Gros Michel Guayabo. La temperatura de inicio de gelatinización de los almidones varió entre 65.58°C para Gros Michel Guayabo y 74.41°C en Tafetán Rojo. La variedad Yangambi Km3 presentó la viscosidad máxima a 483.24 cP e Indio a 1958.44cP. La variedad Mbindi presentó la mayor facilidad de cocción (1.91 min) mientras que FHIA-1 presentó el mayor tiempo (9.49 min).

Palabras clave: Análisis de Componentes Principales (ACP), curvas de empastamiento, fracción comestible, materia seca, Musaceae, plátano.

Abstract

Twenty varieties of *Musa* sp. from diverse genetic compositions were analyzed: AB, BB, AAA, AAB, ABB, AAAB and AAAA. The material was acquired from the Fedeplatano germplasm bank in Chinchiná, Colombia, located at 1360 masl. The varieties were physically and morphologically characterized, and their functional flour and starch properties were identified. The analysis of the principal components (PCA) showed that plantains are differentiated by their higher size (weight, length and diameter), when

compared among varieties. MB Tani, ICAFHIA 110, Saba and Bluggoe plantain subgroups showed the larger peel percentages; the other clones did not differ from each other. Plantains for cooking from the Plantain subgroup (AAB), have more dry matter; Bocadillo Chileno and hybrid dessert (except FHIA 1) have more edible proportions than other varieties. The onset temperature for flour gelatinization in the RVA ranged from 66.58°C for Bocadillo Chileno, to 75.21 ° C for Mbindi. The maximum viscosity was between 441.57 and 1837.17 cP for Red Tafetan and Dwarf Cavendish; cooking facility were between 2.76 and 7.55 minutes for the Bocadillo Chileno and Gros Michel Guayabo varieties. The onset temperature for starch gelatinization ranged between 65.58°C for Gros Michel Guayabo, and 74.41°C for Red Tafetan. The maximum viscosity was between 483.24 cP and 1958.44 cP for the varieties Yangambi Km3 and Indio. The Mbindi variety cooked more easily (1.91 minutes), while FHIA 1 needed more time (9.49 minutes).

Key words: Dry matter, edible fraction, Musaceae, pasting curves, plantain, Principal Component Analysis (PCA).

Introducción

El plátano y el banano son propios del suroeste de Asia, y su cultivo se ha difundido a extensas zonas de América Central y Sudamérica, donde son la base de la alimentación de la población. La mayoría de los cultivares de plátano y banano de la familia Musaceae tuvieron origen en dos especies silvestres: *Musa acuminata* (A) y *Musa balbisiana* (B) que por poliploidía e hibridación generaron las variedades cultivadas actualmente (Simmonds, 1973).

En varios países tropicales la agricultura se basa en una producción semi-intensiva que contribuye a mantener la diversidad de las plantas comestibles y generar ingresos para los habitantes de las zonas rurales. En Colombia, con excepción del grupo Plantain, se producen y consumen localmente alrededor de 400,000 t de plátano, incluidos bananos de cocción y variedades tipo Bluggoe (Arcila *et al.*, 2002; Price, 1999; Lescot, 2008). En la actualidad, las musáceas son fuente importante de carbohidratos dentro de la dieta de los colombianos y se consideran la cuarta fuente de energía, después de maíz, arroz y trigo (FAO, 2005).

Los programas de mejoramiento genético de musáceas se han orientado principalmente al desarrollo de variedades resistentes a plagas y enfermedades. Las estrategias se han centrado en aspectos agronómicos como rendimiento, características organolépticas (apariencia), tolerancia a estrés, vida útil, contenido de minerales, absorción de agua y resistencia mecánica a daño (Bakry *et al.*, 2008). Entre las especies tetraploides

introducidas, los híbridos de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) presentan ventajas por su productividad y resistencia a plagas. No obstante, algunos de ellos son a menudo rechazados por los consumidores debido a defectos en sus características organolépticas (visuales, sensoriales y de textura), así como su bajo contenido de materia seca y vida útil poscosecha en estado verde (Dzomeku *et al.*, 2006; Arvanitoyannis y Mavromatis, 2009).

En la bibliografía existente hay algunos trabajos donde se comparan las características físicas y químicas de pastas de harina de plátano en diferentes etapas de maduración (Arvanitoyannis y Mavromatis, 2009 y Aurore *et al.*, 2009), que incluyen desde metodologías para análisis proximal de bananos de postre (Forster *et al.*, 2002, Da Mota *et al.*, 2000; Mustafa *et al.*, 1998) hasta plátanos y bananos de cocción (Eggleston *et al.*, 1991; Ngalani y Tchango Tchango, 1996; Díaz *et al.*, 1999; Pacheco-Delahaye *et al.*, 2008) y en diferentes etapas de maduración; no obstante, no se hacen comparaciones entre grupos o entre formas de consumo. Por otra parte, los estudios de variabilidad intra-racimo son escasos (Mustafa *et al.*, 1998, Jullien *et al.*, 2001).

La gran biodiversidad de plantas de musáceas es un activo importante en programas cuyo objetivo es la obtención de frutas con propiedades organolépticas deseables y de buena calidad nutritiva que incluye sabor y contenido de antioxidantes. Dadas las exigencias de los consumidores y la demanda en nuevos mercados se describen nueve sub-

especies acuminata, siendo los clones más consumidos en el mundo: Grupo AA, Subgrupo AAA, Grupo AB, Grupo AAB, Grupo ABB, Grupo AAAA (Aurore *et al.*, 2009).

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el posible potencial agroindustrial de veinte variedades de musáceas cultivadas en Colombia por encima 1300 m.s.n.m.,m, y como parámetros el tamaño de los racimos, el número de ‘manos’ y ‘dedos’ con cáscara y sin ella, y características físicas como densidad, contenido de materia seca, porcentaje de cáscara y propiedades reológicas del almidón y las harinas, con el fin de identificar las variedades promisorias para la industria.

Materiales y métodos

Selección de variedades

Las muestras fueron tomadas de variedades (Cuadro 1) de la Colección Colombiana de

Musáceas existente en Fedeplátano, localizada en la hacienda Las Vegas, municipio de Chinchiná (1360 m.s.n.m., 4° 58´ N y 75° 20´ O), departamento de Caldas, Colombia, y consistieron en un racimo de frutos verde en estado óptimo de desarrollo.

Caracterización física

El peso de cada uno de los racimos se determinó antes de separar las ‘manos’ o grupos de frutos (‘dedos’) del raquis, a continuación se pesaron por separado el raquis y las manos en una balanza de triple brazo (Ohaus 700 series). El peso de los frutos, con cáscara y sin ella, se determinó en una balanza analítica de precisión (± 0.0001 g), igualmente se estableció el peso de la cáscara por separado.

Las longitudes del fruto y de la pulpa fueron medidas desde el pedúnculo hasta el

Cuadro 1. Clasificación genética y subgrupo de las variedades de musáceas evaluadas.

Genotipo y nombre	Clasificación genética	Subgrupo
Diploide: $2n = 2x = 22$		
Ney Poovan	AB	Sucrier
M.B.Tani	BB	Balbisiana
Triploide: $2n = 3x = 33$		
Guineo	AAA	Mutika
Gros Michel Guayabo	AAA	Gros Michel
Cachaco Sin Bellota	ABB	Bluggoe
Yangambi KM3	AAA	Ibota
Cachaco Espermo	ABB	Bluggoe
Mbindi	AAB	Plantain
Bocadillo Chileno	AAA	Gros Michel
Dwarf Cavendish	AAA	Cavendish
Saba	ABB	Saba
Pisang Ceylan	AAB	Mysore
Indio	AAA	Cavendish
Banano Chico	AAA	Gros Michel
África 1	AAB	Plantain
Tafetán Rojo	AAA	Red Dacca
Banano 2	AAA	Gros Michel
Híbridos tetraploides $2n=4x=44$		
FHIA 17	AAAA	Hybrid
ICAFHIA 110	AAAA	Hybrid
FHIA 1	AAAB	Hybrid

ápice con una cinta métrica y una precisión ± 0.1 cm. El diámetro se determinó en la parte media de cada fruto y pulpa con aplicación de la fórmula del perímetro de la circunferencia. Para determinar la densidad del fruto y la pulpa se empleó el método de volumen desplazado (Dadzie y Orchard, 1996; Bainbridge *et al.*, 1996) con una balanza analítica de ± 0.0001 g de precisión, de la forma siguiente:

$$\rho_p = \frac{m_p}{m_{ad}}$$

donde,

ρ_p = densidad del plátano (g/ml).

m_p = masa del plátano (g) con o sin cáscara -g.

m_{ad} = masa o volumen (ml) de agua desplazado por el plátano con o sin cáscara.

Para la determinación de la materia seca se seleccionaron al azar tres muestras de frutos que se pelaron y cortaron para determinar el peso húmedo y seco a 105 °C durante 48 h. El porcentaje de cáscara en fruto se calculó por la relación existente entre los pesos secos de ambos. La fracción comestible (kg/planta de MS) se calculó por la relación siguiente:

$$Fc = (Pr - Prq) \cdot \%pulpa \cdot \%MS \text{ (Ferris, 1999)}$$

donde,

Pr : peso del racimo;

Prq : peso del raquis,

$\%pulpa$: porcentaje de pulpa

$\%MS$: porcentaje de materia seca (MS).

Caracterización de las curvas de empastamiento de harinas y almidones

Preparación de las muestras. Para la obtención de la harina, la pulpa fue cortada en rodajas y secada a 50 °C por 48 h en un horno de lecho fluidizado (Mermmet UL40) con campo de medida entre 1 y 200 °C, antes de ser molidas y almacenadas en cuarto frío (Dufour *et al.*, 2008, 2009).

Para la extracción de almidón se empleó la metodología recomendada por Dufour *et al.* (2008, 2009). Para el efecto se licuó una fracción de la pulpa del racimo completo en agua destilada durante un minuto, la cual se pasó por un tamiz para separar el almidón

resultante por sedimentación en varios lavados del producto.

Propiedades de las curvas de empastamiento. Estas propiedades se determinaron con utilización de un analizador rápido de viscosidad RVA-4 (Newport Scientific) con perfil definido de temperatura: comienza a una temperatura de 50 °C y aumenta a razón de 6 °C/min hasta 90 °C, se mantiene durante 5 min y luego enfriar hasta 50 °C a 6 °C/min. Para las harinas se realizó una suspensión al 8% base seca en presencia de inhibidor de α -amilasa ($AgNO_3$, 0.002 mol/lit) y los almidones con agua destilada a una concentración de 7% base seca (Dufour *et al.*, 2008, 2009).

Las variables analizadas en la caracterización de las curvas de empastamiento fueron: temperatura y tiempo de inicio de gelatinización ($T_{pasting}$ -°C) y ($t_{pasting}$ -min), viscosidad máxima (V_{max} -cP), temperatura en viscosidad máxima ($T^{\circ}V_{max}$ -°C) y tiempo en viscosidad máxima ($t^{\circ}V_{max}$ -min), inestabilidad del gel (Breakdown) ($V_{max} - V_{PC}$ -cP), viscosidad de la pasta caliente (V_{PC} -cP), viscosidad mínima (V_{min} -cP), viscosidad de la pasta fría (V_{PF} -cP), reorganización (Setback) ($V_{PF} - V_{max}$ -cP), facilidad de cocción ($t^{\circ}V_{max} - t_{pasting}$ -min), (Dufour *et al.*, 2008, 2009).

Análisis de datos

Para el análisis estadístico descriptivo de los resultados se empleó el Software SPSS v. 15.0 (SPSS, 2006) y para el análisis de componentes principales (ACP) SPAD 3.5 (CISIA-Ceresta, 1998).

Resultados y discusión

Características físicas del fruto

El promedio de peso por racimo varió entre clones, con un coeficiente de variación de 43.27%. Cachaco Espermo fue la variedad que produjo los racimos de menor peso (8 kg), mientras que la variedad Bocado Chino produjo racimos con promedio de peso 43 kg. Las características del racimo en musáceas dependen de factores genéticos, agroclimáticos, edad del cultivo, entre otras; lo que muestra que las características morfológicas de estas plantas dependen de la interacción

genotipo x ambiente (Vuylsteke, 1997) e indica que el estado de las variedades no limita los resultados encontrados en este estudio. En el Cuadro 2 se observa que los híbridos para postre producen los racimos de mayor peso y número de manos y frutos, seguidos por el plátano para postre; por el contrario, los plátanos de cocción mostraron los menores pesos, número de manos y frutos.

En Colombia las variedades industriales son de tamaño grande, de mayor longitud y diámetro. Los frutos que presentaron los valores máximos de estas características correspondieron a las variedades del subgrupo Plantain (África-1 y Mbindi) las cuales, según Azcón-Bieto y Talon (1996), son modificables por el ambiente.

En todas las variedades, la longitud promedio del fruto fue menor que 25 cm, con excepción del subgrupo Plantain (Mbindi y

África-1), lo que concuerda con los hallazgos de Dufour *et al.* (2008) y Gibert *et al.* (2009) para subgrupo África-1. Este investigador encontró, además, que los plátanos del grupo AAB presentan longitudes mayores de 23 cm, no obstante en este trabajo se encontró que la variedad Pisang Ceylan (AAB) tiene una longitud menor que dicho valor.

Los plátanos de cocción del subgrupo Plantain presentaron un diámetro promedio de fruto (> 5 cm) superior al de los demás plátanos y bananos de las variedades estudiadas, lo que coincide con los hallazgos de Dufour *et al.* (2008) y Gibert *et al.* (2009).

La variedad Africa-1 mostró el mayor peso seco y longitud de pulpa (335.8 g y 28.7 cm, respectivamente) (Cuadro 3), mientras que la variedad M.B Tani sólo pesó 42.2 g y reveló una longitud de 11.5 cm.

Cuadro 2. Características físicas de racimo y fruto de las variedades de musáceas evaluadas.

Tipo y forma de uso	Nombre de variedad	Peso del racimo (kg)	Número de manos	Número de dedos	Peso de fruto (g)	Longitud de fruto (cm)	Diámetro medio de fruto (cm)
Diploide postre	Ney Poovan	14.4	8	101	129.0±22.9	18.2±1.7	4.1±0.2
Diploide BB	M.B. Tani	22	14	197	95.9±50.4	16.9±3.0	4.2±0.7
Bananos de postre	Gros Michel Guayabo	20	8	126	135.7±29.3	16.8±2.0	4.1±0.2
	Yangambi Km3	14	8	111	136.5±21.3	19.4±1.6	4.0±0.1
	Bocadillo Chileno	43	10	191	212.2±45.2	21.6±1.7	4.5±0.3
	Dwarf Cavendish	14.2	8	104	131.7±16.5	20.9±1.8	3.8±0.1
	Indio (Primitivo)	23.9	9	154	136.6±13.7	20.8±1.5	3.9±0.1
	Banano Chico	14.25	9	105	118.9±15.9	19.3±1.8	3.7±0.1
	Tafetan Rojo	13.25	5	67	163.4±20.7	18.0±1.3	4.7±0.2
	Banano 2	20	8	137	127.3±21.8	22.6±2.1	3.8±0.7
Banano de cocción	Guineo	20.5	8	137	146.8±17.1	18.5±0.6	4.7±0.2
Plátano de postre	Pisang Ceylan	24.15	13	202	102.3±23.3	17.5±1.9	3.8±0.1
Plátanos de cocción	Mbindi	14	7	44	304.6±75.8	25.7±2.9	5.1±0.5
	Africa 1	17.75	6	32	550.0±36.3	37.0±1.1	5.7±0.2
	Cachaco sin Bellota	10.5	6	71	142.9±22.3	17.8±1.1	4.5±0.3
	Cachaco Espermo	8	6	60	105.8±21.5	17.6±1.7	4.2±0.2
	Saba	14.25	7	76	168.7±25.9	21.5±1.6	4.9±0.2
Híbridos de postre	FHIA 17	26	12	182	179.3±28.3	20.7±1.9	4.2±0.1
	ICAFHIA 110	36.5	11	175	186.9±22.4	23.9±1.6	4.3±0.2
	FHIA 1	20	9	260	130.2±25.4	18.0±1.6	4.1±0.13

Cuadro 3. Características de la pulpa y porcentaje de cáscara de las variedades de musáceas evaluadas.

Tipo y forma de uso	Nombre de variedad	Peso pulpa (g)	Longitud de pulpa (cm)	Diámetro medio de pulpa (cm)	Cáscara (%)
Diploide postre	Ney Poovan	71.6±13.4	13.5±1.6	3.1±0.1	41.2±1.2
Diploide BB	M.B. Tani	42.2±31.3	11.5±2.7	3.0±0.7	58.4±9.4
Bananos de postre	Gros Michel Guayabo	82.0±19.8	14.3±1.6	3.2±0.2	37.1±1.7
	Yangambi Km3	89.8±11.5	15.5±1.3	3.2±0.1	35.2±1.8
	Bocadillo Chileno	119.6±25.9	17.9±2.1	3.4±0.2	40.6±1.7
	Dwarf Cavendish	78.8±11.1	16.9±1.4	2.9±0.1	37.3±2.0
	Indio (Primitivo)	71.1±7	17.3±1.2	2.8±0.1	44.9±2.0
	Banano Chico	73.3±10.6	14.9±1.2	3.0±0.1	36.7±1.6
	Tafetan Rojo	99.8±12.8	15.1±0.9	3.8±0.2	36.3±1.1
	Banano 2	62.7±8.0	18.7±1.8	2.6±0.1	51.4±3.3
	Banano de cocción	Guineo	82.1±12.8	12.5±1.8	3.7±0.2
Plátano de postre	Pisang Ceylan	63.2±13.3	12.8±1.8	3.1±0.2	37.2±5.7
Plátanos de cocción	Mbindi	215.0±57.9	21.3±2.9	4.1±0.4	36.4±1.8
	Africa 1	335.8±27.1	28.7±0.9	4.6±0.2	36.2±1.5
	Cachaco sin Bellota	71.3±11.4	13.4±1.2	3.4±0.2	47.2±2.1
	Cachaco Espermo	50.0±13.6	12.5±1.9	2.9±0.2	52.9±4.0
	Saba	76.75±12.24	14.7±1.70	3.45±0.16	52.3±3.9
Híbridos de postre	FHIA 17	110.1±16.7	17.6±2.4	3.4±0.1	36.3±1.19
	ICAFHIA 110	90.4±11.1	18.5±1.1	3.1±0.1	49.5±1.0
	FHIA 1	78.3±14.7	14.5±2.0	3.2±0.1	41.4±4.4

Los plátanos de cocción del subgrupo Plantain presentaron promedios de diámetro de la pulpa mayores que 4 cm, mientras que en los demás esta característica varió entre 2 y 4 cm (Cuadro 3). La variedad M.B. Tani, con un valor promedio de 58.44%, mostró el mayor porcentaje de cáscara y el menor valor se observó en la variedad Yangambi Km3 (35.16%) (Cuadro 3). La agroindustria busca materiales con bajos porcentajes de cáscara, lo que garantiza mayores rendimientos de materia prima. En Colombia, los plátanos con mayor uso industrial son Dominico Hartón y Hartón, con porcentajes de cáscara entre 35 y 39% (Dufour *et al.*, 2008; Gibert *et al.*, 2009), de acuerdo con este criterio las variedades Yangambi Km3, Guineo Mutika, Africa-1, Tafetán Rojo, FHIA 17, Mbindi, Banano Chico, Gros Michel Guayabo, Pisang Ceylan y Dwarf Cavendish, con porcentajes de cáscara entre 35.16% y 37.26%, son variedades que deben ser estudiadas con más detalle como materiales promisorios para la agroindustria.

Densidades

Las densidades promedio de los frutos y las pulpas de cada una de las variedades se incluyen en el Cuadro 4. La mayor densidad de fruto se observó en la variedad Banano Chico (1.23 g/ml) y la menor en la variedad M.B. Tani (0.83 g/ml). Los bananos tipo postre presentaron densidades > 1 g/ml; los plátanos de cocción variedad Mbindi revelaron la mayor densidad (1.03 g/ml) y los bananos híbridos de postre entre 0.86 y 1.10 g/ml; la densidad del fruto del banano de cocción fue de 0.95 g/ml y la del plátano de postre de 0.98 g/ml.

La pulpa más densa fue la de la variedad Banano Chico (1.36 g/ml), mientras que la menos densa fue la de la variedad M.B. Tani (0.77 g/ml). La densidad de la variedad M.B. Tani es afectada por la alta presencia de semillas en la pulpa.

Una menor densidad del material significa menor porosidad de la cáscara o de la pulpa, por lo cual existen menos espacios vacíos

Cuadro 4. Densidad, materia seca y fracción comestible de las variedades de musáceas evaluadas.

Tipo y forma de uso	Nombre de la variedad	Grupo	Subgrupo	Densidad de fruto (g/ml)	Densidad de pulpa (g/ml)	Fracción comestible (MS, kg)	Materia seca (%)
Diploide postre	Ney Poovan	AB	Sucrier	0.98±0.11	1.01±0.12	2.31	31.85±0.65
Diploide BB	M.B. Tani	BB	Balbisiana	0.85±0.07	0.77±0.08	1.73	21.24±1.22
Bananos de postre	Gros Michel Guayabo	AAA	Gros Michel	1.16±0.11	1.02±0.10	3.35	28.98±1.54
	Yangambi Km3	AAA	Ibota	1.02±0.06	1.04±0.12	2.79	33.25±0.85
	Bocadillo Chileno	AAA	Gros Michel	1.01±0.04	1.28±0.21	5.99	26.64±0.31
	Dwarf Cavendish	AAA	Cavendish	1.0±0.08	1.32±0.14	2.32	28.90±0.99
	INDIO (Primitivo)	AAA	Cavendish	0.95±0.07	1.05±0.20	3.43	29.73±2.47
	Banano Chico	AAA	Gros Michel	1.22±0.12	1.36±0.21	2.37	33.02±2.52
	Tafetan Rojo	AAA	Red Dacca	1.05±0.06	1.08±0.12	1.87	24.87±0.60
	Banano 2	AAA	Gros Michel	1.12±0.12	1.16±0.32	2.68	29.33±0.76
Banano de cocción	Guineo	AAA	Mutika	0.95±0.06	1.07±0.18	2.95	25.26±0.64
Plátano de postre	Pisang Ceylan	AAB	Mysore	0.98±0.12	1.12±0.19	4.33	31.34±2.03
Plátanos de cocción	Mbindi	AAB	Plantain	1.04±0.03	1.13±0.05	3.84	40.02±1.10
	Africa 1	AAB	Plantain	1.02±0.05	1.13±0.07	3.64	36.76±1.24
	Cachaco sin Bellota	ABB	Bluggoe	1.03±0.03	0.88±0.11	1.58	34.82±0.29
	Cachaco Espermo	ABB	Bluggoe	0.95±0.04	0.79±0.09	1.23	35.07±0.61
	Saba	ABB	Saba	0.92±0.04	0.91±0.14	1.87	31.84±1.14
Híbridos de postre	FHIA 17	AAAA	Hybrid	0.95±0.06	0.99±0.10	4.66	22.44±0.96
	ICAFHIA 110	AAAA	Hybrid	0.86±0.04	0.99±0.15	4.83	28.61±2.34
	FHIA 1	AAAB	Hybrid	1.1±0.13	1.3±0.22	2.92	27.52±1.03

y al sumergir el producto en agua tiende a precipitarse en el fondo del recipiente; por el contrario, en los materiales con mayor porosidad algunos espacios se encuentran vacíos y otros contienen aire y al sumergirlos en agua, los primeros se llenan de agua y no vencen la resistencia que opone el agua y por lo tanto flotan (Lucas *et al.*, 2010) lo que afecta los procesos de cocción en agua y/o en aceite, al no quedar el producto totalmente sumergido.

Materia seca y fracción comestible

La variedad Mbindi presentó el mayor porcentaje de MS en fruto (40.02%), seguida de la variedad África-1 (36.76%). Las variedades del subgrupo Bluggoe, Cachaco Espermo, Cachaco sin Bellota y Saba mostraron porcentajes de MS de 35.08, 34.83, y 31.85%, respectivamente. La industria de frituras busca materias primas con altos contenidos de MS seca ya que en este proceso el agua es desplazada por aceite, por tanto a menor cantidad de agua menor es la cantidad de aceite absorbido por el material y menor es

el tiempo de exposición durante el proceso (Lemaire, 1997).

La variedad Bocadillo Chileno presentó la mayor fracción comestible por racimo (5.99 kg de MS). Los resultados de MS y fracción comestible en el presente estudio concuerdan con los encontrados por Dufour *et al.* (2008) y Gibert *et al.* (2009), y aunque los valores de dichas variables no son iguales en ambos estudios, el desempeño de los materiales fue similar, además, es un hecho reconocido que los valores de MS están relacionados con las formas de consumo, por lo que los bananos para postre tienen contenidos menores que los plátanos para cocción.

En el análisis de varianza se detectó que existen diferencias significativas (P < 0.005) entre variedades, en relación con todas las variables respuesta estudiadas, por tanto, es necesario analizar y describir los caracteres morfológicos y las propiedades fisicoquímicas de las variedades, con el propósito de buscar correlaciones entre las características de la pulpa con las preferencias de los consumidores, que determinan la aceptación o el rechazo del fruto.

Visco-amilogramas de almidones y harinas

Visco-amilogramas de almidones.

En la Figura 1 y en el Cuadro 5 se presentan las curvas de empastamiento y las propiedades funcionales de los almidones de las variedades en estudio. Según la forma de consumo, las variedades mostraron las siguientes propiedades funcionales:

Temperatura de gelatinización.

El promedio de temperatura de inicio de gelatinización de los almidones en bananos para postre fue de 65.58 y 74.41 °C para las variedades Gros Michel Guayabo y Tafetán Rojo, respectivamente; las demás variedades de este grupo presentaron valores cercanos a los 70 °C. Entre plátanos de cocción, Africa-1 presentó el menor valor (69.35 °C) y Cachaco sin Bellota el más alto (73.82 °C), en las demás la temperatura fue superior a 70°C. Entre los bananos híbridos para postre, la variedad FHIA-1 reveló el menor valor (66.99 °C) e ICAFHIA

110 el más alto (70.34 °C). El banano de cocción tuvo una temperatura de inicio de gelatinización de 72.47 °C y el plátano de postre de 69.11 °C. Lo anterior indica que, para iniciar la gelatinización los plátanos de cocción demandan mayor cantidad de energía que las demás variedades de musáceas estudiadas. Una mayor temperatura de gelatinización en almidones nativos refleja una mayor estabilidad interna del gránulo de almidón, normalmente asociada con una mayor presencia de zonas semi-cristalinas y gran contenido de amilosa (Imberty, 1988). Las temperaturas de gelatinización, bajas entre los diferentes clones, se explican porque el gránulo de almidón absorbe rápidamente agua debido al debilitamiento entre las fuerzas de atracción de las moléculas (amilosa/amilopectina), fenómeno asociado posiblemente con una menor presencia de amilosa y una mayor de regiones cristalinas dentro del gránulo que requieren menos temperatura de calentamiento.

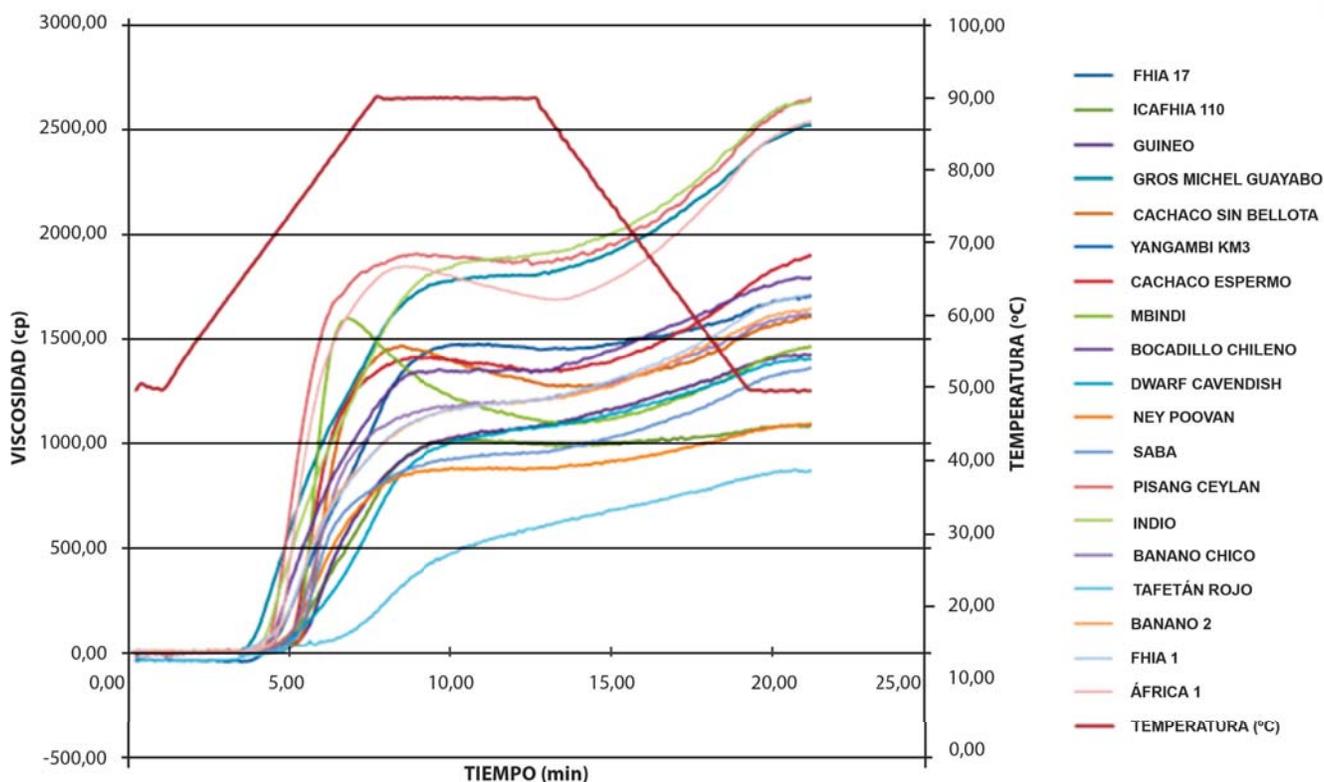


Figura 1. Visco-amilograma de almidones de variedades de musáceas evaluadas.

Cuadro 5. Propiedades funcionales de los almidones de las variedades de musáceas evaluadas.

Variedad	Grupo	T°pasting (°C)	V _{máx} (cP)	Inestabilidad gel (cP)	VPF (cP)	Setback (cP)	Tiempos de cocción (min)
FHIA 17	AAAA	68.31	1505	256.5	1668	419.5	7.09
ICAFHIA 110	AAAA	70.34	1025	180.5	1068	223	6.16
Guineo	AAA	72.47	1082	0	1358	276.5	8.18
Gros Michel Guayabo	AAA	65.58	1832	0	2364	532	9.66
Cachaco Sin Bellota	ABB	73.82	1463	194	1512	243	3.47
Yangambi Km3	AAA	73.77	483	98.5	544	159	7.05
Cachaco Espermo	ABB	71.08	1409	66.5	1753	410	4.37
Mbindi	AAB	73.00	1558	518	1304	263.5	1.91
Bocadillo Chileno	AAA	69.38	1471	15.93	1798	342.93	7.94
Dwarf Cavendish	AAA	70.37	1101	0	1378	277.5	8.86
Ney Poovan	AB	70.25	891	0	1069	177.5	8.78
Saba	ABB	72.29	978	0	1276	297.5	8.64
Pisang Ceylan	AAB	69.11	1876	43.5	2444	611.5	6.1
INDIO (Primitivo)	AAA	67.07	1958	0	2513	555	8.61
Banano Chico	AAA	69.63	1177	0	1483	306	8.96
África 1	AAB	69.35	1849	165	2356	672	4.41
Tafetan Rojo	AAA	74.41	637	0	854	216	8.25
Banano 2	AAA	66.75	1222	0	1584	361	9.45
FHIA 1	AAAB	66.99	1223	0	1597	374	9.49

cP = Viscosidad máxima.

Viscosidad.

Entre los bananos de postre, la variedad Yangambi Km3 presentó la menor viscosidad máxima (483.24 cP) durante el proceso de cocción, mientras que la variedad clon Indio fue la de mayor viscosidad máxima (1958.44 cP). El almidón de las variedades Ney Poovan y Tafetán Rojo no alcanzó viscosidades máximas superiores a 1000 cP. En los plátanos de cocción, la variedad África-1 alcanzó la más alta viscosidad máxima (1849.54 cP), mientras que el clon Saba mostró la menor (978.56 cP). Las demás variedades de este grupo presentaron valores por encima de 1000 cP. La variedad ICAFHIA 110 presentó una viscosidad máxima menor (1025.40 cP) que los demás bananos híbridos de postre; mientras que la variedad FHIA 17 reveló el mayor valor, con una viscosidad máxima de 1504.91 cP, el banano de cocción presentó un valor de 1081.86 cP y el plátano de postre 1875.93 cP.

Las diferencias entre las viscosidades máximas se explican por la relación entre el contenido de amilosa/amilopectina en los almidones de diferentes variedades y el tamaño del granulo (Gordon, 1990). Por la viscosidad

máxima, las variedades FHIA 17 (1504.91 cP), Gros Michel Guayabo (1831.68 cP), Cachaco sin bellota (1462.96 cP), Cachaco Espermo (1409.24 cP), Mbindi (1558.52 cP), Bocadillo Chileno (1471.16 cP), Pisang Ceylan (1875.93 cP), Indio (1958.44 cP), y Africa-1 (1849.54 cP) presentan propiedades promisorias para la agroindustria que requiere mejorar la estabilidad de los productos como salsas o sopas.

Inestabilidades del gel (V_{max} - V_{PC}).

Los bananos de postre revelaron inestabilidades del gel entre 0 y 98.50 cP, Gros Michel Guayabo, Dwarf Cavendish, Ney Poovan, Indio, Banano Chico, Tafetán Rojo y Banano-2 no presentaron reducción en viscosidad y fueron las variedades con los almidones más estables durante la cocción, con inestabilidad del gel igual a 0. La variedad Yangambi Km3 mostró la mayor inestabilidad. Mbindi fue el plátano de cocción con mayor Inestabilidad (518 cP) y el clon Saba el más estable (0 cP). Entre los almidones de bananos híbridos de postre, la variedad FHIA-1 fue la más estable (inestabilidad del gel = 0); mientras que la variedad FHIA 17 presentó la mayor inestabilidad (256.50 cP).

El banano de cocción reveló una inestabilidad de 0 y el plátano de cocción 43.50 cP.

Almidones.

Las variedades menos indicadas para procesos que requieren agitación mecánica son FHIA 17 (256.5 cP), ICAFHIA 110 (180.5 cP), Cachaco Sin Bellota (194 cP), Yangambi Km3 (98.5 cP), Pisang Ceylan (43.5 cP), Africa 1 (165 cP) y Mbindi (518 cP). Las diferencias entre las inestabilidades se deben a la presencia de amilopectina en el almidón, que es el polímero que rápidamente se solubiliza en medio acuoso y da estabilidad visco-elástica a la curva de empastamiento, cuando dicha solución es sometida a cambios bruscos de temperatura (Wang *et al.*, 2003). Estos resultados sugieren una gran capacidad de hinchamiento de los gránulos de almidón de las variedades evaluadas y una menor estabilidad en la cocción. De esto se puede inferir que los gránulos son muy frágiles y se destruyen fácilmente con la pérdida de viscosidad en el sistema. Esta fragilidad depende del tamaño de los gránulos; así, a mayor tamaño se destruyen más fácilmente ya que son más susceptibles a la ruptura por las fuerzas térmicas o mecánicas aplicadas, lo cual indica que las fuerzas de enlaces entre los gránulos de almidón no son estables (Zobel, 1988).

Reorganización o Setback (VPF - Vmax).

Para esta propiedad, la variedad Yangambi km3 presentó el valor más bajo entre los bananos de postre (159 cP), mientras que el clon Indio el valor más alto (555 cP). Entre los plátanos de cocción, las variedades Cachaco sin Bellota (243 cP) y Mbindi (263.50 cP) presentaron la menor reorganización; por el contrario, la variedad Africa-1 mostró el valor más alto (672 cP). Entre los bananos híbridos para postre, ICAFHIA 110 presentó un valor de reorganización 223 cP y FHIA 17 de 419.50 cP. Por otra parte, el banano de cocción tuvo una reorganización de 276.50 cP y el plátano de postre de 611.50 cP.

Facilidad de cocción.

Dentro de los bananos para postre, el menor tiempo de cocción se observó en Yangambi Km3 (7.05 min) mientras que Banano

2 presentó el mayor tiempo (9.45 min). Los clones Dwarf Cavendish, Ney Poovan, Indio, Banano Chico y Tafetán Rojo presentaron tiempos de cocción entre 8 y 9 min. Entre los plátanos de cocción, Mbindi presentó el menor tiempo de cocción (1.91 min) y Saba el mayor (8.64 min), los demás clones de este grupo presentaron valores entre 3 y 4.5 min. Los bananos híbridos para postre presentaron tiempos mayores que 6 min, siendo ICAFHIA 110 la variedad con el menor tiempo (6.16 min) y FHIA-1 el mayor (9.49 min). El banano para cocción tuvo una facilidad de cocción de 8.18 min y el plátano de postre de 6.10 min. Al igual que la facilidad de cocción de las harinas, los almidones tienen tiempos de cocción aproximados a 5 min, por ejemplo, las variedades Mbindi y Cachaco sin Bellota revelaron resultados similares (3.47 min) de utilidad para la industria alimentaria, al igual que Cachaco Espermo (4.37 min), y África-1 (4.41 min). Estas diferencias de comportamiento en facilidad para cocción, se deben principalmente a la presencia de gránulos de almidón que ocupan una mayor área superficial en la solución, mientras que los gránulos de almidón con menor área superficial en la solución inciden directamente en un tiempo menor, en relación con la facilidad de cocción de la pasta (Gunaratne y Hoover, 2002).

Las marcadas diferencias en las curvas de empastamiento entre almidones son notorias, debido a la conformación genética de las variedades. La formación del gel depende de la asociación de los polímeros, especialmente de la fracción de amilosa presente en las moléculas, del tamaño y de la forma del gránulo. Boyer y Shannon (1987) señalan que los almidones con alto contenido de amilosa poseen temperaturas de gelatinización mayores que aquellos con alto contenido de amilopectina. Wurzburg (1986) considera que la amilosa posee una gran capacidad para formar puentes de hidrógeno, lo que disminuye su afinidad por agua y hace necesario una cantidad alta de energía para incorporarla en su estructura. Esto puede explicar en parte, los valores de la temperatura de inicio de gelatinización y las bajas curvas de viscosidad observadas en las Figuras 1 y 2 para almidones y harinas.

La caída de viscosidad que presentan algunas variedades cuando la temperatura es constante, posiblemente se debe a que las moléculas de almidón solubles se orientan en la dirección en la cual es agitado el sistema y origina así una disminución en la viscosidad, fenómeno conocido como 'shear thinning' (Hoseney *et al.*, 1986). El incremento de la viscosidad durante el período de enfriamiento indica una tendencia de varios constituyentes presentes en la pasta caliente –gránulos hinchados, fragmentos de gránulos hinchados, moléculas de almidón coloidal y molecularmente dispersas– para asociar o retrogradar, mientras la temperatura de la pasta disminuye (Singh *et al.*, 2003).

Visco-amilogramas de harinas.

Las curvas de empastamiento y las propiedades funcionales de las harinas provenientes de la mano 2 de cada racimo se presentan en la Figura 2 y en el Cuadro 6.

Los bananos para postre presentaron temperaturas de inicio de gelatinización muy variables; el promedio más bajo fue para Bocadoillo Chileno (66.58 ± 0.13 °C) y el mayor

para Yangambi Km3 (74.71 ± 0.06 °C). Con excepción de este último y del clon Banano Chico, este grupo mostró temperaturas de gelatinización por debajo de 70 °C, a diferencia de los plátanos de cocción con valores entre 70.35 °C par Saba y 75.21 °C para Mbindi. El banano de cocción revelo una temperatura de gelatinización de 73.62 °C y el plátano de postre de 69.22 °C (Cuadro 6).

Como se sabe, a menor temperatura de gelatinización, menor es el consumo de energía requerida para iniciar el hinchamiento de los gránulos de almidón presentes en las harinas. Según los resultados de este estudio, las variedades con menor temperatura de inicio de gelatinización son los bananos de postre, entre ellos Bocadoillo Chileno, es decir, requieren menor tiempo para gelatinizar los almidones y para cocción y ablandamiento.

Según la viscosidad máxima alcanzada, las harinas de variedades como Dwarf Cavendish, África1, Pisang Ceylan, FHIA 17, Bocadoillo Chileno, Saba, Indio, Banano 2, se pueden considerar promisorias como espesantes de sopas, compotas y salsas, entre otras.

El 'breakdown' o inestabilidad del gel (Vmax - VPC) está relacionado con la frag-

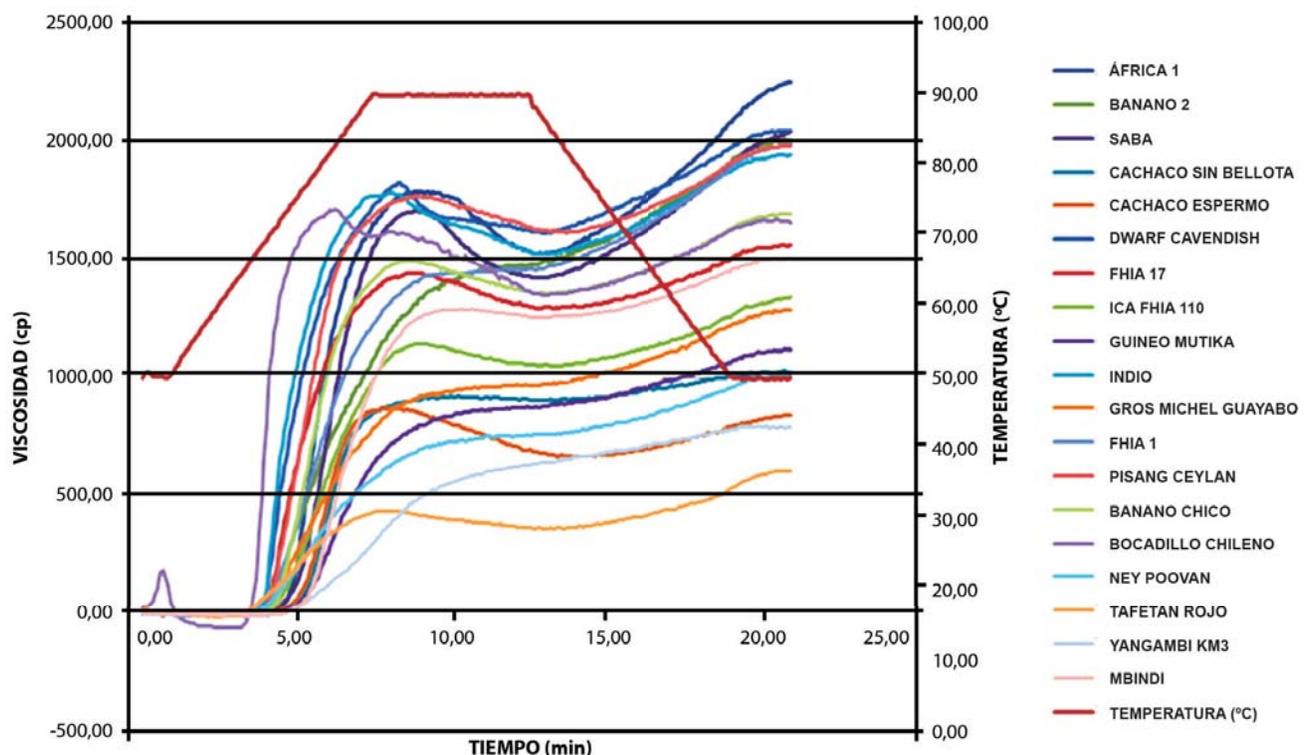


Figura 2. Visco-amilograma de harinas de variedades de musáceas evaluadas.

Cuadro 6. Propiedades funcionales de harinas de las variedades de musáceas evaluadas.

Variedad	Grupo	T° pasting (°C)	V máx (cP)	Inestabilidad gel (cP)	VPF (cP)	Setback (cP)	Cocción (min)
FHIA 17	AAAA	68.93	1448	156.5	1504	212.0	4.86
ICAFHIA 110	AAAA	70.50	1147	69.5	1261	183.0	4.77
Guineo	AAA	73.62	875	0	1066	191.5	6.88
Gros Michel Guayabo	AAA	68.60	970	0	1223	253.5	7.55
Cachaco Sin Bellota	ABB	73.18	927	19	1005	97.5	5.53
Yangambi Km3	AAA	74.71	628	0	780	153.6	7.15
Cachaco Espermo	ABB	72.85	877	211.5	792	126.5	3.37
Mbindi	AAB	75.21	1296	40.5	1455	199	5.58
Bocadillo Chileno	AAA	66.58	1721	315.5	1625	219.5	2.76
Dwarf Cavendish	AAA	68.1	1837	222.5	1977	362.5	4.64
Ney Poovan	AB	68.56	757	0	958	201.5	7.43
Saba	ABB	70.35	1712	287	1904	479	4.78
Pisang Ceylan	AAB	69.22	1773	110	1908	245.5	5.18
Indio (Primitivo)	AAA	68.40	1824	238.5	1874	289	3.92
Banano Chico	AAA	70.47	1501	107	1631	237.5	4.58
Africa 1	AAB	71.31	1794	268	2083	557.0	4.67
Tafetán Rojo	AAA	66.68	441	61.5	531	151.5	4.59
Banano 2	AAA	69.5	1532	75.5	1931	474.5	6.64
FHIA 1	AAAB	68.53	1465	0	1893	428.5	6.69

cP = Viscosidad máxima VPF = Viscosidad después del enfriamiento

mentación mecánica, así, a mayor inestabilidad mayor será la exposición al rompimiento del gel por causas mecánicas, debido a la fragilidad de destrucción de los gránulos que se manifiesta con la pérdida de viscosidad en el sistema, lo que depende del tamaño del gránulo. A mayor tamaño se destruyen más fácilmente, ya que son más susceptibles a la ruptura por las fuerzas térmicas o mecánicas aplicadas (Zobel, 1988; Dufour *et al.*, 2008, 2009). Las harinas de las variedades FHIA 17, Cachaco Espermo, Bocadillo Chileno, Dwarf Cavendish, Saba, Pisang Ceylan, Indio, Banano Chico y África-1 tienen como característica particular su mayor susceptibilidad a este tipo de rompimiento, cuando se les compara con las demás variedades.

La viscosidad después del enfriamiento (VPF) es un factor importante al momento de seleccionar un material para conservar viscosidades adecuadas en cada proceso productivo; el incremento en la viscosidad de la pasta, que ocurre al finalizar la curva

de empastamiento, está relacionado con el enfriamiento de ésta y se asocia con el fenómeno de retrogradación y con el contenido de amilosa en los almidones. Este fenómeno de retrogradación está influenciado por varios factores relacionados con la amilosa, entre ellos: el contenido, la longitud y estado de dispersión de las cadenas (moléculas) de este compuesto (Gunaratne y Hoover, 2002). La variedad Tafetán Rojo, entre los bananos para postre, presentó el menor valor en esta variable (531 cP), mientras que Dwarf Cavendish mostró el mayor valor (1977 cP). La variedad de plátano Cachaco Espermo de cocción presentó la menor viscosidad de la pasta fría (792 cP) y África-1 el mayor valor (2083 cP); ICAFHIA 110 tuvo el valor más bajo entre los híbridos de postre (1261 cP) y FHIA-1 el más alto (1893 cP); el banano de cocción presentó una viscosidad de pasta fría de 1066 cP y el plátano de postre de 1908.42 cP.

La reorganización o Setback (VPF - Vmax) se manifiesta con el incremento de la

viscosidad durante el período de enfriamiento debido a que se restablecen los enlaces de hidrógeno entre las moléculas de amilosa y amilopectina, lo que da lugar a la consistencia tipo gel, debida a la pérdida de calor en el sistema y al proceso de retrogradación que se genera. La variedad Tafetán Rojo mostró la más baja reorganización entre los bananos de postre (151.50 cP); mientras que África-1 el mayor valor entre los plátanos de cocción (557 cP); ICAFHIA 110 tuvo el menor valor de reorganización 183 cP y FHIA-1 el mayor (428.50 cP); el banano de cocción presentó un valor de 191.50 cP y el plátano de postre de 245.50 cP.

La facilidad de cocción hace que una harina sea utilizable industrialmente. Debido a que la demanda por energía es menor para lograr la gelatinización, se busca que este tiempo sea inferior a 5 min, tiempo estimado de cocción de otras fuentes de harinas como el trigo. Según este criterio, FHIA 17 (4.86 min), ICAFHIA 110 (4.77min), Cachaco Espermo (3.37 min), Bocadillo Chileno (2.76 min), Dwarf Cavendish (4.64 min), Saba (4.78 min), Indio (3.92 min), Banano Chico (4.58 min), África 1 (4.67 min) y Tafetán Rojo (4.59 min) pueden ser de interés para diversos procesos agroindustriales.

En el análisis de varianza o Anova se encontraron diferencias altamente signifi-

cativas ($P < 0.005$) para todas las variables evaluadas entre variedades, lo que indica que las propiedades funcionales de los almidones y harinas varían de acuerdo con el material vegetal del cual provienen.

Análisis de componentes principales

Según este análisis, el peso del fruto es la variable más representativa dentro de las estudiadas; debido a que esta característica está muy relacionada con el desarrollo del fruto, y por tanto, con las dimensiones de éste. Cada variedad tiene un desarrollo diferente debido a su conformación genética y a diversos factores de cultivo. Las variables asociadas con el componente 1 se relacionan entre sí, debido a que están influenciadas por el desarrollo y la formación del fruto, ligado a factores agro-climáticos, principalmente. Las variables asociadas con el componente 2 se relacionan entre sí, debido a que son parte de la estructura del fruto, propia de cada variedad.

En el análisis de componentes principales, 68.99% de las variedades se agrupó en dos componentes (Figura 3). En el conjunto inferior izquierdo aparece el grupo de las variedades África-1(17) y Mbindi(8), clones del subgrupo Plantain, diferenciados por los pesos y las dimensiones superiores. En el grupo superior derecho se incluye la varie-

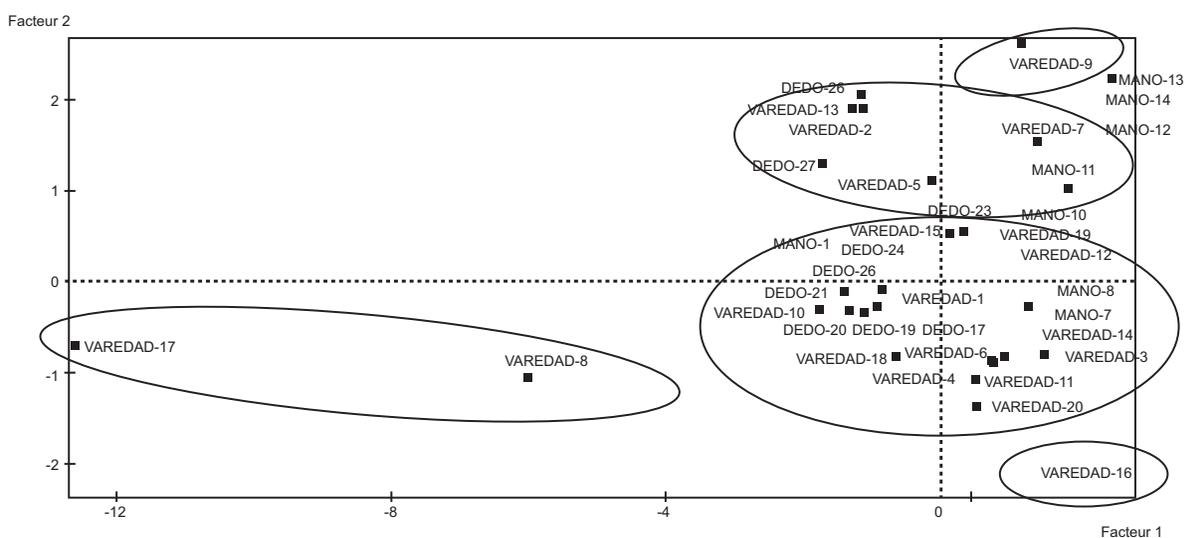


Figura 3. Agrupamiento de variedades de musáceas por sus características físicas y morfológicas. En el conjunto inferior izquierdo aparece el grupo de las variedades diferenciadas por pesos y dimensiones superiores. En el grupo superior derecho se incluye la variedad M.B. Tani (9) que se caracteriza por el alto porcentaje de cáscara, al igual que las variedades en el grupo inmediatamente inferior al anterior conformado por el subgrupo Bluggoe (5 y 7), Saba (12) e ICAFHIA 110 (2).

dad M.B.Tani(9) la cual se caracteriza por el alto porcentaje de cáscara, al igual que las variedades en el grupo inmediatamente inferior al anterior conformado por el subgrupo Bluggoe(5 y 7), Saba(12) e ICAFHIA 110(2). Las variedades en el grupo más grande presentan características físicas y morfológicas de frutos similares, por tanto, estas variables no son un parámetro adecuado para establecer diferencias entre las variedades. La variedad Banano Chico(16) forma un grupo ligado a las densidades de fruto y pulpa.

Conclusiones

- Las variedades ICAFHIA 110, Bocadillo Chileno fueron las de mayor peso de racimo. África-1, a pesar de tener racimo pequeño, presentó un alto peso y es una opción alterna al cultivo tradicional de Dominico Hartón. Igualmente, los híbridos FHIA, Pisang Ceylan, Bocadillo Chileno, por su abundante número de frutos, podrían ser de interés en la agroindustria.
- Las características físicas y morfológicas en las musáceas varían de acuerdo con su posición en el racimo, los frutos más grandes se encuentran en las manos superiores. La materia seca es el parámetro más homogéneo a lo largo del racimo. Todas las variables físicas y morfológicas evaluadas mostraron diferencias altamente significativas, lo cual confirma la gran diversidad varietal de las musáceas. Las variedades del subgrupo Plantain, Mbindi y África 1, con diámetros de fruto de 5.11 y 5.74 cm, respectivamente, son plátanos sobresalientes entre las musáceas.
- Las variedades Yangambi Km3, Guineo Mutika, África 1, Tafetán Rojo, FHIA 17, Mbindi, Banano Chico, Gros Michel Guayabo, Pisang Ceylan y Dwarf Cavendish, con porcentajes de cáscara comprendidos entre 35.16% y 37.26%, se encuentran dentro del rango de las variedades actualmente empleadas en la agroindustria. Las demás variedades presentan porcentajes de cáscara mayor que 40.58%, lo que las hace poco rentables y generan grandes volúmenes de residuos.
- Las variedades del subgrupo Plantain tienen porcentajes de materia seca cercanos a 40% y las variedades Bocadillo Chileno, ICAFHIA 110, Pisang Ceylán y FHIA 17 presentan fracciones comestibles mayores que 4 kg.
- La temperatura de gelatinización de las harinas en el RVA se encontró entre los 66.58 °C y 75.21 °C para las variedades Bocadillo Chileno y Mbindi, respectivamente. La viscosidad máxima varió entre 441.57 y 1837.17 cP para las variedades Tafetán Rojo y Dwarf Cavendish. Los tiempos de cocción de las harinas o facilidad de cocción variaron entre 2.76 y 7.55 min para las variedades Bocadillo Chileno y Gros Michel Guayabo.
- La temperatura de gelatinización de almidones de los bananos, plátanos e híbridos de postre, es menor que la de los bananos y plátanos de cocción; la viscosidad máxima es menor en los bananos y plátanos de postre, seguidos por los bananos híbridos de postre, plátanos y bananos de cocción; el almidón del plátano de cocción tiene más facilidad de cocción que los plátanos de postre, bananos híbridos de postre y banano de cocción; los bananos de postre tienen los tiempos más prolongados de cocción. El almidón de los plátanos de cocción demanda más energía para iniciar el proceso de gelatinización que los bananos de postre, sin embargo, en la facilidad de cocción se hallaron valores inferiores en estos plátanos que en las demás variedades analizadas.
- En la evaluación de las propiedades funcionales de las harinas, las variedades FHIA 17, Dwarf Cavendish, África-1, Saba, y Bocadillo Chileno, presentaron los mejores comportamientos durante el tratamiento hidrotérmico en las variables viscosidad máxima, breakdown y facilidad de cocción. Bocadillo Chileno y Cachaco Espermo mostraron los mejores resultados en consistencia, lo que indica una baja susceptibilidad a procesos de retrogradación y sinéresis.
- Los almidones con mayor susceptibilidad a fragmentación por agitaciones mecánicas fueron los de las variedades FHIA 17 (256.5 cP), ICAFHIA 110 (180.5 cP), Cachaco Sin Bellota (194 cP), Yangambi Km3 (98.5 cP),

Pisang Ceylán (43.5 cP) y África-1 (165 cP). Estas variedades también mostraron menor susceptibilidad a la retrogradación y a la sinéresis, como altos valores en la viscosidad máxima. Además de estas variedades, Mbindi Cachaco Espermo, tienen mayor facilidad de cocción respecto a las demás.

- En estudios posteriores de poscosecha de los frutos de musáceas, para la medición de las variables físicas y morfológicas, se sugiere tener en cuenta la posición del fruto en el racimo, a diferencia de la evaluación de las curvas de empastamiento de las harinas, las cuales no mostraron diferencias de las variables medidas entre manos de un mismo racimo analizado.

Agradecimientos

Los autores agradecen a: Francisco Grisales y colaboradores, del Centro para la Excelencia del Plátano y Musáceas Afines; Lina María Jaramillo; Luis Miguel Mejía; Thierry Lescot del CIRAD; personal de colaboradores de la Universidad La Gran Colombia; en especial Silverio Alonso González, Presidente de la Federación Nacional de Plataneros, quien tuvo la iniciativa de la investigación, facilitó el material vegetal y las instalaciones de Fedeplátano para la realización del trabajo.

Referencias

- Arcila, M. I.; Cayón, S. G.; Morales, O. H. 2002. Características físicas y químicas del fruto de dominico hartón (*Musa* AAB Simmonds) de acuerdo a su posición en el rácimo. En: Memorias Acobat 2002: 498 - 502.
- Arvanitoyannis, I. S. y Mavromatis, A. 2009. Bananas cultivars, cultivation practices, and physicochemical properties. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 49:113 - 135.
- Aurore, G.; Parfait, B.; y Fährasmane, L. 2009. Bananas, raw materials for making processed food products. *Trends Food Sci. tech.* 20:78 - 91.
- Azcón-Bieto, J.; y Talon, M. 1996. Fisiología y bioquímica vegetal, 463-478. Madrid: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V., 2° Ed.
- Bainbridge, Z.; Tomlins, K.; Wellings, K.; y Westby, A. 1996. Methods for assessing quality characteristics of non-grain starch staples Natural Resources Inst., Chatham (Reino Unido). 1996. 4 volumes in case. Part 2. Field Methods. Part 3. Laboratory Methods.
- Bakry, F.; Carreel, F.; Jenny, C.; y Horry, J. P. 2008. Genetic Improvement of banana. Chapter I. In breeding plantation tree crops: Tropical species. Jain, S. M. y Priyadarshan, P. M. (eds.). Springer Dordrecht, The Netherlands. P. 3 - 50.
- Boyer, C. D.; y Shannon, J. C. 1987. Carbohydrates of the kernel. En: Watson, S. A. y Ramstad, P. E. (eds.). *Corn chemistry and technology.* St Paul, Minn., Etats-Unis, Am. Assoc. Cereal Chem.
- Cisia-Ceresta. 1998. SPAD, Version 3.5. Montreuil. Disponible en <http://www.cisia.com>
- Dadzie, B. K. y Orchard, J. E. 1996. Post-harvest criteria and methods for routine screening of banana/plantain hybrids. International Network for the Improvement of Banana and Plantain INIBAP, Montpellier, FR., IPGRI. p. 3 - 10.
- Da Mota, R. V.; Lajolo, F. M.; Ciacco, C.; y Cordeunsi, B. R. 2000. Composition and functional properties of banana flour from different varieties. *Stärke. [Starch].* 52(2 - 3):63 - 68.
- Díaz, A; Trystram, G.; Vitrac, O.; Dufour, D.; y Raoult-Wack, A. L.. 1999. Kinetics of moisture loss and fat absorption during frying for different varieties of plantain. *J. Sci. Food Agric.* 79(2):291 - 299.
- Dufour, D.; Giraldo, A.; Gibert, O.; Sánchez, T.; Reyes, M.; González, A.; Fernández, A.; y Díaz, A. 2008. Propiedades físico-químicas y funcionales de los bananos de postre, plátanos de cocción y FHIA híbridos: preferencia varietal de los consumidores en Colombia. In: Borja, J. S.; Nogales, C.; Orrantia, C.; Paladines, R.; Quimi, V.; Tazan, L. (eds.). CD-Proceedings, Acobat 2008, XVIII International Meeting, November 11-14/2008, Guayaquil, Ecuador. Pp. 33.
- Dufour, D.; Gibert, O.; Giraldo, A.; Sánchez, T.; Reyes, M.; Pain, J. P.; González, A.; Fernández, A.; y Díaz, A. 2009. Differentiation between cooking bananas and dessert bananas. 2. Thermal and functional characterization of cultivated Colombian Musaceae (*Musa* sp.). *J. Agric. Food Chem.* 57(17):7870 - 7876.
- Dzomeku, B. M.; Osei-Owusu, M.; Ankomah, A. A.; Akyeampong, E.; y Darkey, S. K.. 2006. Sensory evaluation of some cooking bananas in Ghana. *J. Appl. Sci.* 6(4):835 - 837.
- Eggleston, G.; Swennen, R.; y Akoni, S. 1991. Differences in composition and texture among plantains, plantain hybrids and cooking banana. En: Westby, A. y Reilly, P. J. (eds.). *Proceedings of a Regional Workshop on Traditional African Foods - Quality and Nutrition, November 25-29. 1991.* IFS. Estocolmo, Suecia. p. 179 - 185.
- FAO. 2005. La economía mundial del banano 1985 - 2002.

- Ferris, R. O. 1999. Fruit quality evaluation of plantains, plantain hybrids, and cooking bananas. En: Postharv. Biol. Tech. 15:73 - 81.
- Forster, M. P.; Rodríguez Rodríguez, E.; y Romero, C. D. 2002. Differential characteristics in the Chemicals composition of bananas from Tenerife (Canary Islands) and Ecuador. J. Agric. Food Chem. 50:7586 - 7592.
- Gibert, O.; Dufour, D; Giraldo, A.; Sánchez, T.; Reyes, M.; Pain, J.-P.; González, A.; Fernández, A. y Díaz, A. 2009. Differentiation between cooking bananas and dessert bananas. 1. Morphological and compositional characterization of cultivated Colombian Musaceae (*Musa* sp.) in relation to consumer preferences. J. Agric. Food Chem. 57(17):7857 - 7869.
- Gordon, M. 1990. Methods of starch analysis. Starch. 42:4.
- Gunaratne, A. y Hoover, R. 2002. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches, Carboh. Polym. 49:425 - 437.
- Hoseney, R.; Zeleznak, K.; y Yost, D. 1986. A note on the gelatinization of starch. Starch/stärke. 38:407 - 409.
- Imberty, A. 1988. The double helical nature of the crystalline part of A-starch, J. Mol. Biol. 201(2) :365 - 378.
- Jullien, A.; Malézieux, E.; Michaux-Ferrière, N.; Chillet, M.; y Ney, B. 2001. Within-bunch variability in banana fruit weight: importance of developmental lag between fruits. Ann. Bot. 87:101 - 108.
- Lemaire, H. R. 1997. The suitability of plantain and cooking bananas for frying. Fruits 52(4) :273 - 282.
- Lescot, T. 2008. La diversité génétique des bananiers en chiffres. Fruitcop. 155:29 - 33.
- Lucas, J. C.; Díaz, A.; y Dufour, D. 2010. Caracterización físico-química y evaluación de las curvas de empastamiento de tres variedades de plátano: Hartón (*Musa* AAB), Cubano Blanco (*Musa* AAB), Cachaco (*Musa* ABB). En: Memorias Reunión Internacional Acorbat, Medellín, Colombia 2010. 412 p.
- Mustaffa, R.; Osman, A.; Yusof, S.; y Mohamed, S. 1998. Physicochemical changes in Cavendish banana (*Musa cavendishii* L. var. Montel) at different positions within a bunch during development and maturation. J. Agric. Food Chem. 78:201 - 207.
- Ngalani, J. A. ; y Tchango-Tchango, J. 1996. Evaluation des qualités physicochimiques du fruit de bananiers d'autoconsommation au Cameroun. Fruits 51(5) :327 - 332.
- Pacheco-Delahaye, E.; Maldonado, R.; Pérez, E.; y Schroeder, M. 2008. Production and characterization of unripe plantain (*Musa paradisiacal* L.) flours. Interciencia 33:290 - 296.
- Price, N. S. 1999. Highland bananas in Colombia. Infomusa 8(2):26 - 28.
- Simmonds, N. 1973. Los Platanos. Barcelona, España. Blume.
- Singh, N; Singh, J.; Kaur, L.; Singh, S. N.; y Singh, G. B. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. Food Chem. 81:219 - 231.
- SPSS. 2006. Disponible en: <http://www-01.ibm.com/software/analytics/spss/downloads.html>
- Vuytsteke, R. O. 1997. Plantain improvement. Plant breed 14:267 - 320.
- Wang, Y. J.; Truong, V. D.; y Wang, L. 2003. Structures and rheological properties of corn starch as affected by acid hydrolysis. Carboh. Polym. 52(3):327 - 333.
- Wurzburg, O.B. 1986. Modified starches: properties and uses. Boca Ratón, Florida. CRC Press.
- Zobel, H.F. 1988. Molecules to granules: a comprehensive starch review. Starch/Stärke 40:44 - 50.