

PHYSICOCHEMICAL EVALUATION OF COOKING AND DESSERT BANANAS (*Musa sp.*) VARIETIES

EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE VARIEDADES DE PLÁTANOS (*Musa sp.*) DE COCCIÓN Y POSTRE

O. Lidia Rosales-Reynoso¹, Edith Agama-Acevedo^{1*}, Andres Aguirre-Cruz²,
Luis A. Bello-Perez¹, Dominique Dufour^{3,4}, Olivier Gibert³

¹Instituto Politécnico Nacional, CEPROBI, Km. 6.5 Carretera Yautepec-Jojtla, Colonia San Isidro, Calle Ceprobi Núm. 8, Yautepec, Morelos, México. (agama@ipn.mx). ²Instituto de Química Aplicada, Universidad del Papaloapan (UNPA), Circuito Central 200, Colonia Parque Industrial, Tuxtepec, Oaxaca, 68301, México. ³Centre de Cooperation Internationale en Recherche Agronomique pour le Developpement (CIRAD), UMR QUALISUD, 73 Rue Jean-Francois Breton, TA B-95/15 F-34398 Montpellier, France. ⁴International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Km17 Recta Cali-Palmira, A. A. 6713, Cali, Colombia.

ABSTRACT

In México, banana (*Musa sp.*) varieties are used for human consumption as well as for traditional medicine, but the literature lacks information on local diversity and functional justification for their use. Three varieties of dessert bananas (Valery, Morado, and Enano) and one cooking banana (Macho) were collected in a commercial farm in Tuxtepec, Oaxaca, México, at the agronomic maturity stage, and they were physically and chemically evaluated. A random sampling, ANOVA, and Tukey tests were used. As compared to the dessert bananas, the cooking banana (Macho) showed a lower number of hands per banana bunch (6) and of fingers per hands (6), one of the smallest bunch yields (about 12.4 kg), a higher average finger weight (349 g), length (31.7 cm), girth (17 cm), starch amount (75.7 %, dry basis), resistant starch (59.2 % db), and greater firmness (10.2 N). Values of extractable polyphenols (EP), condensed tannins (CT), and hydrolysable tannins (HT) were higher for Morado variety, followed by Macho. The antioxidant capacity of EP, CT, and HT fluctuated among varieties. The Morado variety exhibited the lowest pasting temperature, lowest onset temperature, highest peak viscosity, and highest breakdown than those of the other varieties. The cooking variety exhibited the highest pasting and onset temperature (86.2 and 74.8 °C), and cooking ability (88.6 s) ($p \leq 0.05$). The results revealed the differentiation of edible Mexican banana varieties and for their potential acceptability.

RESUMEN

En México, las variedades de plátano (*Musa sp.*) se usan para el consumo humano y para la medicina tradicional, pero la literatura carece de información sobre la diversidad local y la justificación funcional para su uso. Tres variedades de plátanos de postre (Valery, Morado y Enano) y una de cocción (Macho) se recolectaron en una granja comercial en Tuxtepec, Oaxaca, México, a la edad de madurez agronómica, y se realizó una evaluación fisicoquímica. La muestra fue aleatoria y se realizaron pruebas ANDEVA y de Tukey. En comparación con los plátanos de postre, el plátano de cocción (Macho) mostró un menor número de manos por racimo (6) y de dedos por mano (6), uno de los rendimientos más bajos de racimo (alrededor de 12.4 kg), un mayor peso promedio de dedos (349 g), longitud (31.7 cm), circunferencia (17 cm), cantidad de almidón (75.7 % base seca), almidón resistente (59.2 % db), y mayor firmeza (10.2 N). Los valores de polifenoles extraíbles (PE), taninos condensados (TC) y taninos hidrolizables (TH) fueron mayores para la variedad Morado, seguida de la Macho. La capacidad antioxidante de PE, TC y TH fluctuó entre las variedades. La variedad Morado exhibió la temperatura de formación de pasta más baja, la menor temperatura de inicio, la mayor viscosidad pico y la mayor de rompimiento, en comparación con las otras variedades. La variedad de cocción presentó la mayor temperatura de formación de pasta y de inicio (86.2 y 74.8 °C), y habilidad de cocción (88.6 s) ($p \leq 0.05$). Los resultados revelaron la diferenciación de las variedades comestibles de plátano mexicanas, y para su potencial aceptabilidad.

* Author for correspondence ♦ Autor responsable.

Received: August, 2013. Approved: March, 2014.

Published as ARTICLE in *Agrociencia* 48: 387-401. 2014.

Keywords: *Musa* sp., starch properties, polyphenol, antioxidant capacity.

INTRODUCTION

Banana (*Musa* sp.) is a tropical fruit widely consumed in México (García-Mata *et al.*, 2013) when ripe, a characteristic obtained after storage and depends on temperature and relative humidity. Dessert bananas are usually consumed raw at a full stage of maturity but other varieties, called cooking bananas, are cooked for consumption at various stages of maturity (Gibert *et al.*, 2009). Exporting bananas from México has decreased because of major volume lost due to high banana ripening rate, thus decreasing income for farmers. There are different banana varieties used in Mexico (Vázquez-Castrejon *et al.*, 2005), but little is known about their composition, functionality and acceptability. So far, starch is the main unripe banana compound known to contribute to functional properties of processed banana products, such as textural, thermal and rheological (Dufour *et al.*, 2009; Gibert *et al.*, 2009; Gibert *et al.*, 2010). However, banana fruit has polyphenols compounds with antioxidant capacity (Rodríguez-Ambriz *et al.*, 2008) that can increase its nutraceutical benefits, information which is almost unknown for Mexican varieties.

It is worthwhile to study unripe banana flour and starch isolated from unknown Mexican *Musa* sp. varieties due to their high starch content (around 74 %, dry basis), and resistance of starch to hydrolysis by digestive enzymes (Aparicio-Saguilan *et al.*, 2005; Ovando-Martínez *et al.*, 2009), as well as antioxidant capacity of the unripe banana flour. Moreover, the banana fruit is available year round at low cost, and the production of raw flour and starch from unripe banana fruit can be a technological alternative for nutraceutical food products (Bello-Pérez and Paredes-López, 2009). Banana varieties were evaluated for resistance to plagues, biochemical changes during ripening, flour physicochemical specificities for a given genotype, and physicochemical and functional characteristics of starch (Ayo-Omogie *et al.*, 2010; Zhang and Hamaker, 2012; Gibert *et al.*, 2013). Thus, the aim of this study was to evaluate the physical and chemical characteristics of the banana varieties (cooking and dessert) growing in México.

Palabras clave: *Musa* sp., propiedades del almidón, polifenol, capacidad antioxidante.

INTRODUCCIÓN

El plátano (*Musa* sp.) es un fruto tropical ampliamente consumido en México (García-Mata *et al.*, 2013) cuando está maduro, una característica obtenida después del almacenamiento y depende de la temperatura y la humedad relativa. Los plátanos de postre generalmente se consumen crudos en una etapa completa de maduración, pero otras variedades, llamadas plátanos de cocción, se cocinan para su consumo en distintas etapas de madurez (Gibert *et al.*, 2009). La exportación de plátanos de México ha disminuido debido a pérdidas por su alta tasa de maduración, reduciendo el ingreso para los agricultores. Hay distintas variedades de plátanos usadas en México (Vázquez-Castrejon *et al.*, 2005), pero se conoce poco sobre su composición, funcionalidad y aceptabilidad. El almidón es el compuesto principal del plátano verde, que contribuye a las propiedades funcionales, de textura, térmicas y reológicas, de los productos de plátano procesado (Dufour *et al.*, 2009; Gibert *et al.*, 2009; Gibert *et al.*, 2010). No obstante, el fruto del plátano tiene compuestos polifenólicos con capacidad antioxidante (Rodríguez-Ambriz *et al.*, 2008), que aumentan sus beneficios nutraceuticos, información que es casi desconocida para las variedades mexicanas.

El estudio de la harina de plátano no maduro y el almidón aislado de variedades mexicanas de *Musa* sp. desconocidas es valioso, por su contenido alto de almidón (alrededor de 74 %, base seca), la resistencia del almidón a la hidrólisis por las enzimas digestivas (Aparicio-Saguilan *et al.*, 2005; Ovando-Martínez *et al.*, 2009), así como la capacidad antioxidante de la harina de plátano verde. Además, el plátano fruta está disponible todo el año a un bajo costo, y la producción de harina cruda y almidón de frutos del plátano verde puede ser una alternativa tecnológica para alimentos nutraceuticos (Bello-Pérez y Paredes-López, 2009). Variedades de plátano fueron evaluadas por su resistencia a plagas, cambios bioquímicos durante la maduración, características fisicoquímicas de la harina para un genotipo específico, y características fisicoquímicas y funcionales del almidón (Ayo-Omogie *et al.*, 2010; Zhang y Hamaker, 2012; Gibert *et al.*, 2013). Así, el objetivo de este estudio fue evaluar

MATERIALS AND METHODS

Plant materials

Four banana varieties (three bunches), at agronomic maturity stage, were collected from a commercial farm in Tuxtepec (Oaxaca, México) using random sampling (Table 1). Bananas samples were analyzed 24 h after harvest and the pulp (10 kg) was dehydrated to perform chemical analysis.

Physical characterization

Bunch weight was determined by weighing individual clusters. The number of hands (pads) and fingers (fruits) were obtained by counting number of hands on each bunch and fingers of each hand. Individual fingers were weighed, the length and the circumference of the fruits was determined according to Dadzie and Orchard (1977). The fruit (in the middle part) was cut in slices of 1 cm thickness (five slices), to evaluate the firmness of the pulp using a texture analyzer (model TA-XT2i) and measuring the force required to penetrate the tissue with a 2 mm diameter cylindrical probe. On average six fruits were evaluated.

las características fisicoquímicas de las variedades de plátano (para cocinar y postre) cultivadas en México.

MATERIALES Y MÉTODOS





Materiales vegetales

Cuatro variedades de plátano (tres racimos) se recolectaron en la etapa de madurez agronómica de una granja comercial en Tuxtepec (Oaxaca, México), usando muestreo aleatorio (Cuadro 1). Las muestras de plátano se analizaron 24 h después de la cosecha y la pulpa (10 kg) se deshidrató para realizar análisis químicos.

Caracterización física

El peso del racimo se determinó pesando los grupos individuales. El número de manos (hileras) y dedos (frutos) se obtuvo al contar los números de manos en cada racimo y los dedos en cada mano. Los dedos individuales se pesaron, y la longitud y la circunferencia de los frutos se determinó de acuerdo con Dadzie y Orchard (1977). El fruto (en la parte media) se cortó en rebanadas de 1 cm de grosor (cinco rebanadas), para evaluar

Table 1. Consumption mode and classification of bananas (*Musa* sp.) varieties.
Cuadro 1. Modo de consumo y clasificación de las variedades de plátano (*Musa* sp.).

Local name	Consumption mode	Genome	Subgroup	
Macho	Cooking	AAB	Plantain	
Enano	Dessert	AAA	Cavendish	
Morado	Dessert	AAA	Red dacca	
Valery	Dessert	AAA	Cavendish	

Chemical composition

Banana starches and flours were prepared according to Aparicio-Saguilan *et al.* (2005) and Ovando-Martinez *et al.* (2009). Ash content (08-01), fat (30-25), and protein ($N \times 6.25$) (46-143) were determined by official methods of the AACC (2000). Total starch was measured using K-TSTA 04/2009 kit Megazyme, according to "C determination" for samples containing resistant starch, but not D-glucose or maltodextrins or both. Total, soluble and insoluble fiber (32-05) were determined according to AOAC (2000).

Determination of polyphenols content

Samples were extracted with methanol-water acidified with HCl (50:50 v/v, pH 2, 50 mL g^{-1} sample, 60 min) and acetone-water (70:30 v/v, 50 mL g^{-1} sample, 60 min) at room temperature (25 °C) under constant stirring. After centrifugation (15 min, 25 °C, 3000 x g) supernatants were pooled and used to determine extractable polyphenols content and antioxidant capacity. Extractable polyphenols were determined by the Folin-Ciocalteu procedure (Singleton *et al.*, 1999).

Condensed tannins

To obtain condensed tannins, residues from the methanol/acetone/water extraction were treated with 5 mL L^{-1} HCl-butanol for 3 h at 100 °C (Reed *et al.*, 1982) and absorbance was measured at 550 nm. Condensed tannins from Mediterranean carob pod (*Ceratonia siliqua* L.) were supplied by Nestlé S.A. (Switzerland) and analyzed at the Department of Nutrition, Faculty of Pharmacy, Universidad Complutense de Madrid, Spain.

Hydrolysable polyphenols were released from the food matrix by strong acidic hydrolysis (methanol/ H_2SO_4 90:10 (v/v) at 85 °C for 20 h) from the residues of methanol/acetone/water extraction (Hartzfeld *et al.*, 2002). The sample was centrifuged 15 min at 25 °C and 3000 x g. The supernatant was used for determination of hydrolysable polyphenols by Folin Ciocalteu method (Montreau, 1972). The result was expressed as gallic acid equivalents.

Antioxidant capacity assay (ABTS)

The antioxidant capacity was evaluated in terms of free radical scavenging activity following the procedure described by Re *et al.* (1999) with some modifications (Pulido *et al.*, 2003).

la firmeza de la pulpa usando un analizador de textura (modelo TA-XT2i) y midiendo la fuerza requerida para penetrar el tejido con una sonda cilíndrica de 2 mm de diámetro. En promedio, se evaluaron seis frutos.

Composición química

Con base en Aparicio-Saguilan *et al.* (2005) y Ovando-Martinez *et al.* (2009), se prepararon almidones y harinas de plátano. Los contenidos de cenizas (08-01), grasa (30-25) y proteína ($N \times 6.25$) (46-143) se determinaron con los métodos oficiales de la AACC (2000). El almidón total se midió utilizando el paquete Megazyme K-TSTA 04/2009, de acuerdo con la "determinación C" para muestras que contienen almidón resistente, pero no D-glucosa o maltodextrinas o ambas. Con base en la AOAC (2000), se determinó fibra total, soluble e insoluble (32-05).

Determinación de contenido de polifenoles

Las muestras se extrajeron con metanol-agua acidificada con HCl (50:50 v/v, pH 2, 50 mL g^{-1} muestra, 60 min) y acetona-agua (70:30 v/v, 50 mL g^{-1} muestra, 60 min) a temperatura ambiente (25 °C) bajo agitación constante. Después de centrifugar (15 min, 25 °C, 3000 x g), se acumularon los sobrenadantes y se utilizaron para determinar el contenido de polifenoles extraíbles y la capacidad antioxidante. Los polifenoles extraíbles se determinaron con el procedimiento de Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1999).

Taninos condensados

Para obtener los taninos condensados, los residuos de la extracción metanol/acetona/agua se trataron con 5 mL L^{-1} HCl-butanol 3 h a 100 °C (Reed *et al.*, 1982) y se midió la absorbancia a 550 nm. Nestlé S.A. (Suiza) proporcionó taninos condensados de vaina de algarroba mediterránea (*Ceratonia siliqua* L.) y se analizaron en el Departamento de Nutrición, Facultad de Farmacéutica, Universidad Complutense de Madrid, España.

Los polifenoles hidrolizables se liberaron de la matriz alimenticia por hidrólisis ácida fuerte (metanol/ H_2SO_4 90:10 (v/v) a 85 °C por 20 h) de los residuos de la extracción con metanol/acetona/agua (Hartzfeld *et al.*, 2002). La muestra se centrifugó 15 min a 25 °C y 3000 x g. El sobrenadante se usó para determinar los polifenoles hidrolizables con el método Folin Ciocalteu (Montreau, 1972). El resultado se expresó como equivalentes de ácido gálico.

Thermal analysis and granule size distribution of starch

Gelatinization properties were assessed by a differential scanning calorimetry (DSC 8500 Pyris, Perkin-Elmer Corp., Norwalk, CT). Starch (≈ 8.0 mg db) was weighed accurately into an aluminum DSC pan and moistened with $40 \mu\text{L}$ of de-ionized water. The pan was hermetically sealed and allowed to stand for 30 min prior to thermal analysis. Samples were heated from 25 to 140°C at a rate of $10^\circ\text{C min}^{-1}$. The characteristics for starch crystallinity loss during gelatinization transition, including onset (T_o), peak (T_p), conclusion (T_c) temperatures, and enthalpy of gelatinization (ΔH in J g^{-1} db starch) were computed using the Pyris software v. 9.1.

Starch granule size distribution was performed using a Malvern Mastersizer 3000 at room temperature (25°C). A small amount of native starch was suspended in water, and an aliquot of this suspension was fed into the mixing cell to reach a 2 % about obscuration level. Volume distribution was determined using the Fraunhofer scattering theory, while considering opaque starch granules. The granule size corresponded to the average granule diameter.

Pasting profile

The pasting characteristics of 7 % db starch suspension (1.125 g db of pure starch adjusted with sample moisture content and purity, 15 mL distilled water) were determined with a MCR301 rheometer (Physica, Anton Paar GmbH, Austria) using an Rapid Visco Analyser (RVA) profile with a starch cell (C-ETD160/ST) and a specific paddle (ST24-2D/2V/2V-30) at a 3 mm gap. The slurry was maintained at 50°C for 1 min, heated from 50 to 90°C in 3 min, maintained 5 min at 90°C and cooled to 50°C in 3 min, prior to a holding stage at 50°C for 3 min. Variables measured on the viscoamylogram (Dufour *et al.*, 2009) were: pasting temperature (PT) and pasting time (Pt), peak viscosity (PV) and peak viscosity time (PVt), cooking ability ($CA = PV_t - Pt$), hot paste viscosity (HPV), viscosity at the end of the plateau (VEP), breakdown ($BD = PV - HPV$), CPV the cold paste viscosity at final 50°C 5CB, setback ($SB = CPV - PV$), and consistency ($CS = CPV - HPV$).

Statistical analysis

Data was analyzed using one way ANOVA and means were compared with HSD Tukey test ($p \leq 0.05$).

RESULTS AND DISCUSSION

Physical characterization

Shape of the banana varieties was different (Table 1) and Morado banana was purple. Valery banana

Prueba de capacidad antioxidante (ABTS)

La capacidad antioxidante se evaluó en términos de actividad para eliminar radicales libres, con base en el procedimiento descrito por Re *et al.* (1999) con algunas modificaciones (Pulido *et al.*, 2003).

Análisis térmico y distribución del tamaño de los gránulos de almidón

Las propiedades de gelatinización se evaluaron con calorimetría de barrido diferencial (DSC 8500 Pyris, Perkin-Elmer Corp., Norwalk, CT). El almidón (≈ 8.0 mg db) se pesó con precisión en una charola de aluminio para el calorímetro y se humedeció con $40 \mu\text{L}$ de agua desionizada. La charola se selló herméticamente y reposó 30 min antes del análisis térmico. Las muestras se calentaron de 25 a 140°C a una tasa de $10^\circ\text{C min}^{-1}$. La pérdida de cristalinidad del almidón durante la gelatinización, incluyendo las temperaturas de inicio (T_o), pico (T_p) y conclusión (T_c), y la entalpía de gelatinización (ΔH en J g^{-1} db almidón), se calcularon usando el programa Pyris v. 9.1.

La distribución de tamaño de los gránulos de almidón se realizó usando un Malvern Mastersizer 3000 a temperatura ambiente (25°C). Una cantidad pequeña de almidón nativo se suspendió en agua y una alícuota de esta suspensión se puso en la celda de mezcla hasta alcanzar un nivel de oscurecimiento de 2 %. El volumen de distribución se determinó usando la teoría de dispersión de Fraunhofer, considerando gránulos de almidón opacos. El tamaño del gránulo correspondió al diámetro promedio del gránulo.

Perfil de formación de pasta

Las características de formación de pasta de una suspensión de almidón al 7 % db (1.125 g db de almidón puro ajustado con contenido de humedad y pureza de la muestra, 15 mL de agua destilada) se determinaron con un reómetro MCR301 (Physica, Anton Paar GmbH, Austria), usando un perfil del Rapid Visco Analyser (RVA) con celda de almidón (C-ETD160/ST) y paleta específica (ST24-2D/2V/2V-30) a una distancia de 3 mm. La mezcla se mantuvo a 50°C por 1 min, se calentó de 50 a 90°C en 3 min, se mantuvo 5 min a 90°C y se enfrió a 50°C en 3 min, antes de una etapa de sostenimiento a 50°C por 3 min. Las variables medidas en el viscoamlograma (Dufour *et al.*, 2009) fueron: temperatura (PT) y tiempo de formación de pasta (Pt), viscosidad pico (PV) y tiempo de viscosidad de pico (PVt), capacidad de cocción ($CA = PV_t - Pt$), viscosidad de pasta caliente (HPV), viscosidad al final del sostenimiento (VEP), rompimiento ($BD = PV - HPV$), CPV la viscosidad de pasta fría a 50°C 5CB final, retroceso ($SB = CPV - PV$), y consistencia ($CS = CPV - HPV$).

showed a higher bunch weight yield (29 kg; Table 2) due to a higher number of hands and fingers per bunch. This variety is economically important in Mexico because of its high yield per hectare. Macho banana showed fewer fingers per bunch (6), greater length (28-31 cm) and girth (16-17 cm), and were heavier (340 g) than the dessert types (15-22 fingers, 14-20 cm length, and 12-13 cm circumference, and 123-151 g). The peel content was similar among varieties, which is about 34 % of a finger weight (data not shown). Gibert *et al.* (2009) and Dufour *et al.* (2009) reported higher peel content (38-45 % range) for cooking and dessert banana varieties grown at higher altitude in Colombia. Peel values above 40 % produce average to low yields and a greater amount of waste, which is a disadvantage for industrial purposes.

Chemical composition and texture of banana pulp

The Macho banana showed lower ash content (2.6-2.7 g 100 g⁻¹, db) and protein (3.05-3.3 g 100 g⁻¹, db), but higher starch content (72-75 g 100 g⁻¹, db) than the dessert varieties (Table 3). Gibert *et al.* (2009) reported slightly higher ash content for six cultivated dessert bananas (3.2 g 100 g⁻¹, db) and equivalent ash content for the Macho variety, which might be related to the higher mineral content reported for dessert varieties. A similar pattern was observed for the protein content, with a higher amount in Valery (4.13 g 100 g⁻¹) and Morado (4.75 g 100 g⁻¹) than in Macho (3.30 g 100 g⁻¹) and Enano (3.05 g 100 g⁻¹). According to Yomeni *et al.* (2004), protein content in cooking bananas is 1-3 g 100 g⁻¹ at the green stage of maturity, and increased to 4 g

Análisis estadístico

Los datos se analizaron con ANOVA de una vía y las medias se compararon con la prueba HSD de Tukey ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización física

La forma de las variedades de plátano fue diferente (Cuadro 1) y el plátano Morado era purpúreo. El plátano Valery mostró un mayor rendimiento de peso del racimo (29 kg; Cuadro 2), debido a un mayor número de manos y dedos por racimo. Esta variedad es económicamente importante en México por su alto rendimiento por hectárea. El plátano Macho mostró menos dedos por racimo (6), mayor longitud (28-31 cm) y circunferencia (16-17 cm), y fue más pesado (240 g) que los tipos de postre (15-22 dedos, 14-20 cm de longitud, 12-13 cm circunferencia y 123-151 g). El contenido de cáscara fue similar entre las variedades, alrededor de 34 % del peso de un dedo (datos no mostrados). Gilbert *et al.* (2009) y Dufour *et al.* (2009) reportaron mayor contenido de cáscara (en el rango de 38-45 %) para variedades de plátano de cocción y de postre cultivadas a una mayor altitud en Colombia. Los valores de cáscara mayores a 40 % producen rendimientos promedios a bajos y una mayor cantidad de desechos, lo cual es una desventaja para fines industriales.

Composición química y textura de la pulpa de plátano

El plátano Macho mostró menor contenido de cenizas (2.6-2.7 g 100 g⁻¹, db) y proteína (3.05-

Table 2. Physical characteristics of banana (*Musa sp.*) varieties.
Cuadro 2. Características físicas de las variedades de plátano (*Musa sp.*).

Variety	Bunch weight (kg)	Number of hands; fingers per bunch	Weight [†] (g)	Unpeeled fingers	
				Length [†] (cm)	Girth [†] (cm)
Macho	12.4	6; 6	349 ± 8 a	31.7 ± 2.45 a	17.0 ± 2.4 a
Enano	15.1	6-7; 6	341 ± 2 a	28.3 ± 1.09 b	16.3 ± 0.7 a
Morado	11.2	6; 15	123 ± 1 b	15.0 ± 1 c	13.5 ± 0.3 b
Valery	29.3	8; 22	151 ± 1 c	20.5 ± 0.6 d	12.8 ± 0.4 c

[†] Mean of 30 replicates ± SD. Values with different letters in a column are statistically different ($p \leq 0.05$)

♦ Media de 30 repeticiones ± DE. Valores con letras diferentes en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Table 3. Chemical composition, pulp texture and starch purity of banana (*Musa* sp.).**Cuadro 3. Composición química, textura de la pulpa y pureza del almidón de plátano (*Musa* sp.).**

Content	Macho	Enano	Morado	Valery
Pulp moisture †	66.04 ± 0.25 a	67.40 ± 0.51 b	72.13 ± 0.30 c	78.25 ± 0.32 d
Ash †	2.71 ± 0.05 a	2.66 ± 0.03 a	3.34 ± 0.05 b	3.65 ± 0.09 c
Protein (N×6.25) †	3.30 ± 0.05 a	3.05 ± 0.02 b	4.75 ± 0.05 c	4.13 ± 0.05 d
Fat †	0.28 ± 0.01 a	0.17 ± 0.01 b	0.46 ± 0.01 c	0.18 ± 0.01 b
Total starch †	75.68 ± 1.71 a	72.21 ± 0.62 b	66.27 ± 0.88 c	70.85 ± 0.79 b
Starch purity ‡	92.4	98.6	97.1	92.1
Resistant starch †	59.22 ± 1.72 a	47.40 ± 1.18 b	14.49 ± 0.47 c	42.80 ± 0.49 d
Total dietary fiber †	9.35 ± 1.17 a	6.43 ± 0.67 b	10.24 ± 1.14 a	6.90 ± 0.34 b
Insoluble dietary fiber †	5.09 ± 0.34 a	4.22 ± 0.21 b	5.20 ± 0.33 a	4.05 ± 0.09 b
Soluble fiber†	4.26 ± 1.39 a	2.21 ± 0.74 b	5.04 ± 0.96 a	2.85 ± 0.38 b
Firmness §	10.15 ± 1.77 a	8.94 ± 1.19 a	4.95 ± 1.12 b	4.46 ± 1.00 b

Mean of three replicates ± SD. Values with different letters in a row are statistically different ($p \leq 0.05$) ♦ Media de tres repeticiones ± DE. Valores con letra diferente en un renglón son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

†g 100⁻¹ g dry basis; ‡Starch purity in g of dried pure starch per 100 g of extracted starch; §N (mean of 14 replicates ± SD, wet pulp). ♦ g 100⁻¹ g base seca; *Pureza del almidón en g de almidón puro seco por 100 g de almidón extraído; §N (media de 14 repeticiones ± DE, pulpa húmeda).

100 g⁻¹ at the mature stage. Those proteins are usually associated with the amount of enzymes involved in catabolism and anabolism of polysaccharides in the fruit. The fat content in the pulp was low (0.17-0.46 g 100 g⁻¹), without significant differences ($p > 0.05$) between Enano and Valery.

Total starch content (Table 3) was higher in Macho banana (75.68 g 100g⁻¹) than in Enano (72.21 g 100 g⁻¹) and Morado (66.27 g 100 g⁻¹) varieties. Dufour *et al.* (2009) report a similar pattern, with higher starch amounts in Macho (86.5 g 100 g⁻¹) than in dessert bananas (81.9 g 100 g⁻¹), using an alternative analytical approach. In the first hours after harvest starch is hydrolyzed in dessert bananas, which could be related to a moisture content increase in the pulp after being harvested (Aparecida *et al.*, 2011), whereas higher protein content (including amylolytic enzymes) could be related to a lower starch content in these varieties. In cooking bananas, hydrolysis of starch and sugar synthesis continues at the ripe stage of maturity, including senescence; thus, it is inferred that enzymatic degradation system for starch is more efficient in dessert bananas. However, the structure of the starch itself can influence its hydrolysis rate in the fruit pulp.

The Morado variety showed the lowest resistant starch (RS) content (14 g 100 g⁻¹) and the Macho variety the highest one (59 g 100 g⁻¹) (Table 4). In banana pulp, there is a wide range of RS content (17-

3.3 g 100 g⁻¹, db), pero mayor contenido de almidón (72-75 g 100 g⁻¹, db) que las variedades de postre (Cuadro 3). Gilbert *et al.* (2009) reportaron un contenido de cenizas ligeramente mayor para seis plátanos de postre cultivados (3.2 g 100 g⁻¹, db) y contenido de cenizas similares a la variedad Macho, lo cual puede relacionarse con el mayor contenido de minerales para variedades de postre. Un patrón similar se observó para el contenido de proteína, con una mayor cantidad en Valery (4.13 g 100 g⁻¹) y Morado (4.75 g 100 g⁻¹) que en Macho (3.30 g 100 g⁻¹) y Enano (3.05 g 100 g⁻¹). Según Yomeni *et al.* (2004), el contenido de proteína en plátanos de cocción es 1-3 g 100 g⁻¹ en la etapa verde, y aumentó a 4 g 100g⁻¹ en la etapa madura. Esas proteínas generalmente se asocian con la cantidad de enzimas involucradas en el catabolismo y anabolismo de los polisacáridos en el fruto. El contenido de grasa en la pulpa fue bajo (0.17-0.46 g 100 g⁻¹), sin diferencias significativas ($p > 0.05$) entre Enano y Valery.

El contenido total de almidón (Cuadro 3) fue mayor en el plátano Macho (75.68 g 100 g⁻¹) que en las variedades Enano (72.21 g 100 g⁻¹) y Morado (66.27 g 100 g⁻¹). Dufour *et al.* (2009) reportaron un patrón similar, con cantidades mayores de almidón en Macho (86.5 g 100 g⁻¹) que en los plátanos de postre (81.9 g 100 g⁻¹), usando un sistema analítico alterno. En las primeras horas después de la cosecha, el almidón se hidroliza en los plátanos de postre,

Table 4. Antioxidant capacity of polyphenols and tannins of unripe banana (*Musa sp.*) varieties.**Cuadro 4. Capacidad antioxidante de polifenoles y taninos de variedades de plátano (*Musa sp.*) no maduro.**

Variety	EP (mg GAE g ⁻¹) (μ mol of Trolox eq g ⁻¹) [†]	CT (mg g ⁻¹) (μ mol of Trolox eq g ⁻¹) [†]	HT (mg GAE g ⁻¹) (μ mol of Trolox eq g ⁻¹) [†]
Macho	1.59 \pm 0.23 a	34.08 \pm 0.13 a	4.03 \pm 0.03 a
	21.25 \pm 0.16 a	39.32 \pm 0.13 a	12.85 \pm 0.33 a
Enano	0.70 \pm 0.07 b	26.40 \pm 1.31 b	5.71 \pm 0.20 b
	8.85 \pm 1.07 b	33.09 \pm 0.57 b	13.14 \pm 1.16 a
Morado	3.46 \pm 0.07 c	44.65 \pm 1.37 c	4.31 \pm 0.23 a
	44.75 \pm 0.36 c	57.87 \pm 0.04 c	19.65 \pm 0.64 b
Valery	0.97 \pm 0.03 d	7.03 \pm 0.16 d	3.96 \pm 0.02 a
	14.41 \pm 0.71 d	22.61 \pm 1.11 d	13.05 \pm 0.63 a

Mean of three replicates \pm SD, dry basis. Values with different letters in a column are statistically different ($p \leq 0.05$). EP: extractable polyphenols; CT: condensed tannins; HT: hydrolysable tannins; GAE: Gallic acid equivalents. [†] Expressed in μ mol of Trolox equivalents g⁻¹. ♦ Media de tres réplicas \pm DE, base seca. Valores con distintas letras en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). PE: polifenoles extraíbles; TC: taninos condensados; TH: taninos hidrolizables; GAE: equivalentes de ácido gálico. [†] Expresado en μ mol de Trolox equivalentes g⁻¹.

50 g 100 g⁻¹) (Juarez-Garcia *et al.*, 2006; Pelissari *et al.*, 2012). The RS content in diverse banana varieties can be related to the shape and size of the starch granules, amylose/amylopectin ratio and starch structure (Zhang and Hamaker, 2012), as will be discussed later. Additionally, some extrinsic factors such as the presence of non-starch polysaccharides can act as a physical barrier which could contribute to an increase in the viscosity of the medium or induce the formation of a network, thus inhibiting the action of the enzymes in starch substrate hydrolysis. The high RS content in the banana varieties can be an important issue since this would contribute to reduce human obesity (Hendrich *et al.*, 2010).

Total, insoluble and soluble dietary fiber contents (Table 3) were higher in the Macho (9.35, 5.09 and 4.26 g 100 g⁻¹) and Morado varieties (10.24, 5.20 and 5.04 g 100 g⁻¹). Dietary fiber content in the bananas ranged between 1.8 and 17 g 100 g⁻¹ (Aguirre-Cruz *et al.*, 2008; Dufour *et al.*, 2009). Pectin and gums are part of the soluble dietary fiber, and RS is included in this fraction, while cellulose, lignin and hemicellulose are included in the insoluble dietary fiber. The insoluble-soluble dietary fiber ratios were different, 50.8:49.2 g 100 g⁻¹ for Morado and 65.6:34.4 g 100 g⁻¹ for Enano. The amount and structure of these components in the soluble and insoluble dietary fiber fractions, as well as the ratio of both fractions, determine its functionality

lo cual podría estar relacionado con un aumento en el contenido de humedad en la pulpa después de la cosecha (Aparecida *et al.*, 2011), mientras que un contenido mayor de proteína (incluyendo enzimas amilolíticas) podría relacionarse con un menor contenido de almidón en estas variedades. En plátanos de cocción, la hidrólisis de almidón y la síntesis de azúcares continúa en la etapa madura, incluyendo la senescencia; por ende, se infiere que el sistema de degradación enzimática es más eficiente en plátanos de postre. Sin embargo, la estructura del almidón en la pulpa de la fruta puede influir en su tasa de hidrólisis.

La variedad Morado mostró el menor contenido de almidón resistente (AR) (14 g 100 g⁻¹) y la variedad Macho el mayor (59 g 100 g⁻¹) (Cuadro 4). En la pulpa de plátano hay un amplio rango de contenido de AR (17-50 g 100 g⁻¹) (Juarez-Garcia *et al.*, 2006; Pelissari *et al.*, 2012). El contenido de AR en diversas variedades de plátano se puede relacionar con la forma y el tamaño de los gránulos de almidón, la proporción amilosa/amilopectina y la estructura del almidón (Zhang y Hamaker, 2012), como se discutirá después. Además, algunos factores extrínsecos como la presencia de polisacáridos no amiláceos pueden actuar como una barrera física que podría contribuir a un aumento en la viscosidad del medio o inducir la formación de una red, inhibiendo así la acción de las enzimas en la hidrólisis del almidón. El contenido alto de AR en las variedades de plátano sería

(expansion of baked products, amount of water retained, and texture of the final product) and physiological properties (fermentation, absorption of minerals, intestinal transit) (Champ *et al.*, 2003).

Greater firmness (Table 3) was found for Macho (10.15 N) and Enano (8.94 N) varieties than for Morado (4.95 N) and Valery (4.46 N). The difference in firmness among these varieties could be due to a combination of factors, including turgor pressure of the tissues, structural components and their interactions in the cell wall (Dadzie and Orchard, 1977). Moreover, a correlation was established between cultivated banana firmness and dry matter content by Gibert *et al.* (2010), who also indicated that starch is the main component of green bananas, thus contributing to the firmness of the varieties. Among the structural components, pectin is responsible for 95-97 % of the firmness of the fruits (Huang and Bourne, 1983). The high value of firmness in cooking bananas makes them less susceptible to mechanical damage and confers greater thermal resistance during postharvest handling and processing. The low strength of dessert bananas could be attributed to their high moisture content, which may increase enzymatic reactions rate, such as hydrolysis of polysaccharides, which confer rigidity to the pulp (Ayo-Omogie *et al.*, 2010; Gibert *et al.*, 2010).

Polyphenols and tannins content and their antioxidant capacity

Morado and Macho bananas showed higher extractable polyphenols content (1.59 and 3.46 mg gallic acid equivalents g^{-1}) than those of Valery and Enano (0.97 and 0.70 mg gallic acid equivalents g^{-1}) (Table 4). Polyphenols content in bananas range from 7.47 to 14 mg catechin g^{-1} (Balasundrum *et al.*, 2006), and 0.11 to 0.9 mg gallic acid equivalents g^{-1} (Haslinda *et al.*, 2009). Banana fruit is an important source of polyphenols; however, there are polyphenolic compounds of high molecular weight with low solubility (tannins) that are not taken into account in most chemical and biological studies of extractable polyphenols. Tannins are associated with dietary fiber and other indigestible compounds such as proteins (Haslinda *et al.*, 2009). In this study condensed tannins (proanthocyanidins)

un asunto importante, porque contribuiría a reducir la obesidad humana (Hendrich *et al.*, 2010).

Los contenidos de fibra dietética total, insoluble y soluble (Cuadro 3) fueron mayores en las variedades Macho (9.35, 5.09 y 4.26 $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) y Morado (10.24, 5.20 y 5.04 $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$). El contenido de fibra dietética en los plátanos varió de 1.8 a 17 $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ (Aguirre-Cruz *et al.*, 2008; Dufour *et al.*, 2009). Las pectinas y gomas son parte de la fibra dietética, y el AR está incluido en esta fracción, mientras que la celulosa, la lignina y la hemicelulosa están incluidas en la fibra dietética insoluble. Las proporciones de fibra dietética insoluble-soluble fueron diferentes, 50.8:49.2 $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ para Morado y 65.6:34.4 $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ para Enano. La cantidad y estructura de estos componentes en las fracciones de fibra dietética soluble e insoluble, así como la proporción de ambas fracciones, determinan su funcionalidad (expansión de productos horneados, cantidad de agua retenida y textura del producto final) y sus propiedades fisiológicas (fermentación, absorción de minerales, tránsito intestinal) (Champ *et al.*, 2003).

Las variedades Macho (10.15 N) y Enano (8.94 N) mostraron mayor firmeza (Cuadro 3) que la Morado (4.95 N) y Valery (4.46 N). La diferencia en firmeza entre estas variedades podría deberse a una combinación de factores, incluyendo la presión de turgencia de los tejidos, los componentes estructurales y sus interacciones en la pared celular (Dadzie y Orchard, 1977). Además, Gibert *et al.* (2010) establecieron una correlación entre la firmeza de plátanos y el contenido de materia seca; ellos también indicaron que el almidón es el principal componente de los plátanos verdes, contribuyendo así a la firmeza de las variedades. Entre los componentes estructurales, la pectina es responsable de 95-97 % de la firmeza de los frutos (Huang y Bourne, 1983). El valor alto de firmeza en plátanos de cocción los hace menos susceptibles al daño mecánico y les confiere mayor resistencia térmica durante el manejo y el procesamiento posterior a la cosecha. La baja fuerza de los plátanos de postre podría atribuirse a su alto contenido de humedad, el cual puede aumentar la velocidad de reacciones enzimáticas, como la hidrólisis de polisacáridos, que confieren rigidez a la pulpa (Ayo-Omogie *et al.*, 2010; Gibert *et al.*, 2010).

of high molecular weight, whose basic structure is represented by flavan-3-ol and flavan-3-4diol, presented higher content than hydrolysable tannins (HT) (gallic and ellagic acids). The Morado variety showed higher values of EP, CT and HT, followed by Macho, whereas Valery showed the lowest EP, CT, and HT, but HT was highest for Enano.

The antioxidant capacities of EP, CT, and HT were different. Thus, EP of Morado variety (3.46 mg GAE g^{-1} of sample, db) produced an antioxidant capacity of 44.75 (Table 4), and the high CT amount for the same variety produced 57.87, suggesting that a low value of EP produced a high antioxidant capacity. For tannins, HT presented higher antioxidant capacity than CT. The different antioxidant capacity of the phenolics compounds depends on the numbers and positions of the OH- groups present in their structure. However, for some flavonoids determining the structure-activity relationship is more complicated (Saura-Calixto *et al.*, 2007).

The antioxidant capacity of each variety could be influenced by the type of phenolic compound present than the amount of phenolic compounds evaluated. In banana, galocatechin, catechin and epicatechin were present in the highest level, and they contributed to the antioxidant activity (Someya *et al.*, 2002). Fiber binds to such compounds while providing protection during the digestive process, and when reaching the colon, fiber is fermented and tannins are released to perform their antioxidant function (Arranz *et al.*, 2010). Thus, green banana could significantly contribute to prevention of gastrointestinal diseases, due to presence of dietary fiber, resistant starch and compounds with antioxidant activity.

Thermal analysis

As described by Dufour *et al.* (2009), the onset temperature (Table 5) of cooking banana (Macho, 74.8 °C) was higher than that of Enano (70.7 °C), Morado (59.4 °C) and Valery (71.5 °C) whereas there was no significant differences in enthalpy (adjusted with the starch purity) in $J g^{-1}$ db of starch. With the highest onset, the Macho variety exhibited the smallest gelatinization range (9.5 °C), which fluctuated from 10.7 to 14.7 °C for dessert bananas. The gelatinization variables (linked to the loss of crystallinity by DSC) are highly dependent on total starch content, higher in cooking banana than in

Contenidos de polifenoles y taninos y sus capacidades antioxidantes

Los plátanos Morado y Macho mostraron mayor contenido de polifenoles extraíbles (1.59 y 3.46 mg equivalentes de ácido gálico g^{-1}) que Valery y Enano (0.97 y 0.70 mg equivalentes de ácido gálico g^{-1}) (Cuadro 4). El contenido de polifenoles en los plátanos varía de 7.47 a 14 mg catequina g^{-1} (Balasundrum *et al.*, 2006), y 0.11 a 0.9 mg equivalentes de ácido gálico g^{-1} (Haslinda *et al.*, 2009). El fruto del plátano es una fuente importante de polifenoles; sin embargo, hay compuestos polifenólicos de alto peso molecular con baja solubilidad (taninos) que no se consideran en la mayoría de los estudios químicos y biológicos de polifenoles extraíbles. Los taninos se asocian con la fibra dietética y otros compuestos no digeribles como proteínas (Haslinda *et al.*, 2009). En este estudio hubo mayor contenido de taninos condensados (proantocianidinas) de alto peso molecular, cuya estructura básica es representada por flavan-3-ol y flavan-3-4diol, que de taninos hidrolizables (TH) (ácidos gálico y elágico). La variedad Morado mostró valores mayores de PE, TC y TH, seguida de Macho, mientras que Valery tuvo los PE, TC y TH más bajos, pero TH fue mayor para Enano.

Las capacidades antioxidantes de PE, TC y TH fueron distintas. Así, PE de la variedad Morado (3.46 mg GAE g^{-1} de la muestra, db) produjo una capacidad antioxidante de 44.75 (Cuadro 4), y la alta cantidad de TC para la misma variedad produjo 57.87, sugiriendo que un valor bajo de PE produjo una alta capacidad antioxidante. Para los taninos, los TH presentaron una capacidad antioxidante mayor que los TC. La distinta capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos depende de los números y posiciones de los grupos OH- presentes en su estructura. Sin embargo, para algunos flavonoides determinar la relación estructura-actividad es más complicado (Saura-Calixto *et al.*, 2007).

La capacidad antioxidante de cada variedad podría estar influida por el tipo de compuesto fenólico presente, más que por la cantidad. En plátanos, estuvieron presentes en el nivel más alto galocatequina, catequina y epicatequina, y contribuyeron a la actividad antioxidante (Someya *et al.*, 2002). La fibra se une a este tipo de compuestos proporcionando protección durante el proceso digestivo, y cuando

Table 5. Gelatinization properties of banana starch measured by DSC.
Cuadro 5. Propiedades de gelatinización de almidón de plátano medido por DSC.

Variety	T ₀ (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	T _c -T ₀ (°C)	ΔH (J/g)
Macho	74.8 ± 0.2 a	79.3 ± 0.2 a	84.3 ± 0.5 a	9.5 ± 0.3 a	22.0 ± 1.6 a
Enano	70.7 ± 0.4 b	76.9 ± 0.1 b	83.2 ± 0.9 a,b	12.5 ± 0.6 b	20.9 ± 1.5 a
Morado	59.4 ± 0.1 c	68.7 ± 0.5 c	74.3 ± 0.7 b,c	14.9 ± 0.4 c	20.0 ± 2.2 a
Valery	71.5 ± 0.8 b	75.9 ± 0.8 b	82.3 ± 0.9 b	10.8 ± 0.9 d	20.7 ± 1.0 a

Mean of triplicates ± SD, dry basis. Values with different letters in a column are statistically different ($p \leq 0.05$). T₀: gelatinization onset temperature; T_p: gelatinization peak temperature; T_c: gelatinization conclusion temperature; T_c-T₀: gelatinization range; ΔH: gelatinization enthalpy computed with starch purity in J g⁻¹ dry of pure starch ♦ Media de triplicados ± DE, base seca. Valores con letras distintas letras en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). T₀: temperatura de inicio de gelatinización; T_p: temperatura de pico de gelatinización; T_c: temperatura final de gelatinización; T_c-T₀: rango de gelatinización; ΔH: entalpía de gelatinización calculada con la pureza del almidón en J g⁻¹ de almidón seco.

dessert bananas (Table 3). However, dessert banana starch presented a slightly higher onset temperature than cooking banana starch (72.1 versus 69.6 °C), but no difference was found in peak and conclusion temperatures or in enthalpy value. However, the four banana starches had different gelatinization range (T_c-T₀), indicating that Morado variety has starch granules more heterogenous than Macho variety (Espinoza-Solis *et al.*, 2011).

This difference could be related to the variety used for starch isolation. Thermal variables are also important for the development of new varieties for food processing (according to the thermal resistance and energy needed for cooking). Thermal variables would help for selection of banana varieties with desired properties (i.e., food processing for baby foods or jams).

Pasting profile

The Morado variety presented the lowest pasting temperature (PT) followed by Enano= Valery, and Macho varieties (Table 6). A similar trend was observed when comparing the PT of starches, with starch onset temperature evaluated by differential scanning calorimetry (Table 5). Although both variables (PT and onset temperature) test the starch disorganization due to the heating, they present different values. Macho variety exhibited the highest pasting temperature, the lowest peak and final viscosity, and a low cooking ability. Morado and Enano exhibited the highest peak viscosity, reflecting

alcanza el colon, la fibra se fermenta y los taninos se liberan para realizar su función antioxidante (Arranz *et al.*, 2010). Así, el plátano verde podría contribuir significativamente a la prevención de enfermedades gastrointestinales, debido a la presencia de fibra dietética, almidón resistente y compuestos con actividad antioxidante.

Análisis térmico

Como lo describieron Dufour *et al.* (2009), la temperatura de inicio (Cuadro 5) del plátano de cocción (Macho, 74.8 °C) fue mayor que la de las variedades Enano (70.7 °C), Morado (59.4 °C) y Valery (71.5 °C), mientras que no hubo diferencias significativas en entalpía (ajustada con la pureza de almidón) en J g⁻¹ db de almidón. Con el inicio más alto, la variedad Macho exhibió el menor rango de gelatinización (9.5 °C), que fluctuó de 10.7 a 14.7 °C para plátanos de postre. Las variables de gelatinización (vinculadas a la pérdida de cristalinidad por DSC) son altamente dependientes del contenido total de almidón, mayor en el plátano de cocción que en los de postre (Cuadro 3). Sin embargo, el almidón de plátano de postre presentó una temperatura de inicio levemente mayor que el almidón de plátano de cocción (72.1 versus 69.6 °C), pero no hubo diferencia en las temperaturas pico y de conclusión o en el valor de entalpía. No obstante, los cuatro almidones de plátano tuvieron un rango diferente de gelatinización (T_c-T₀), indicando que la variedad Morado tiene gránulos de almidón más heterogéneos que la variedad Macho (Espinoza-Solis *et al.*, 2011).

Table 6. Pasting properties of banana starch measured by RVA profile using rheometer starch cell.**Cuadro 6. Propiedades de formación de pasta de almidón de plátano medido por perfil RVA usando reómetro con celda de almidón.**

Variety	Viscosity (cP)						
	Pasting temperature (°C)	Cooking ability (s)	Peak	Breakdown	Final	Setback	Consistency
Macho	86.2 ± 0.6 a	88.6 ± 6.0 a	1332 ± 15 b	182 ± 8 b	1326 ± 14 c	-6 ± 1 d	176 ± 8 c
Enano	82.8 ± 0.2 b	63.5 ± 2.6 b	1358 ± 9 b	261 ± 1 b	1367 ± 19 c	8.7 ± 10 c	269 ± 9 b
Morado	75.5 ± 0.7 c	73.3 ± 1.5 b	1591 ± 8 a	379 ± 13 a	1665 ± 9 b	74 ± 17 b	453 ± 10 a
Valery	81.7 ± 0.2 b	88.0 ± 1.8 a	1574 ± 41 a	12 ± 18 d	2050 ± 63 a	475 ± 25 a	487 ± 31 a

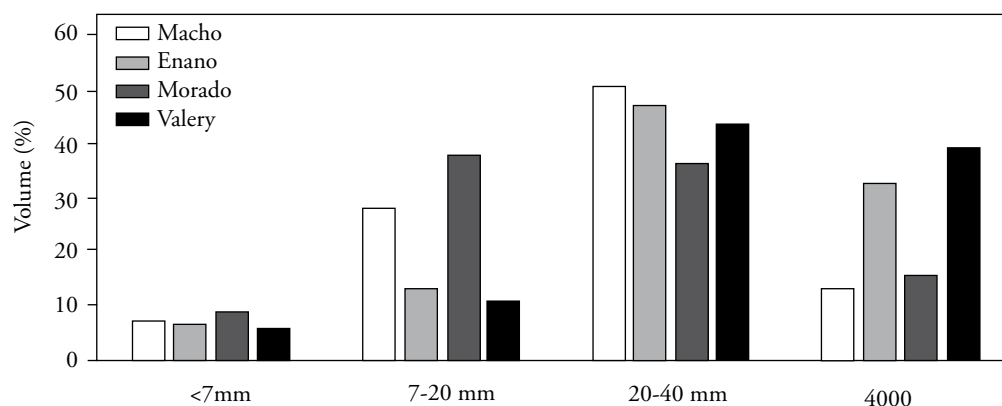
Mean of triplicates ± SD. Values with different letters in a column are statistically different ($p \leq 0.01$) ♦ Media de triplicados ± DE. Valores con letras distintas en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.001$).

high swelling of starch granules that could be due to the high amylose content, especially in the cooking type (Dufour *et al.*, 2009). High peak viscosity is often related to the granule size, which was here confirmed for the dessert banana variety, exhibiting the highest distribution of large granule sizes ($>40 \mu\text{m}$) among banana varieties, whereas the smallest granule ($<7 \mu\text{m}$) and small ($7\text{-}20 \mu\text{m}$) to intermediate ($20\text{-}40 \mu\text{m}$) granule size distribution were equivalent (Figure 1). Morado variety presented the highest breakdown (BD) followed by the Enano, whereas Macho and Valery showed the lowest BD, reflecting the fragility of the swollen granules under continuous shear at hot temperatures. The greatest setback was found for Valery and the lowest for Macho and Enano, since setback is an indicator of reorganization of lineal chains, mainly amylose.

Esta diferencia podría estar relacionada con la variedad usada para el aislamiento del almidón. Las variables térmicas también son importantes para el desarrollo de nuevas variedades para el procesamiento de alimentos (según la resistencia térmica y la energía requerida para cocinar). Las variables térmicas ayudarían a seleccionar variedades de plátano con las propiedades deseadas (por ejemplo, procesamiento de alimentos para bebé o mermeladas).

Perfil de formación de pasta

La variedad Morado presentó la menor temperatura de formación de pasta (PT), seguida de las variedades Enano, Valery y Macho (Cuadro 6). Una tendencia similar se observó al comparar la PT de almidones, con la temperatura de inicio del almidón evaluada

**Figure 1. Laser diffraction granule size distribution of banana starch.****Figura 1. Distribución del tamaño de gránulos del almidón de plátano por difracción laser.**

Final viscosity and setback pattern was similar between banana varieties. Usually, final viscosity reflects the ability of starch to produce a gel after being cooked and cooled. Final viscosity indicated that Valery produces a stronger gel, which was confirmed by its highest consistency value.

CONCLUSIONS

Macho cooking banana could be highly appreciated for processing and industrial uses according to its high yield (weight, length and circumference, starch, protein, and dry matter content). The beneficial health presence of resistant starch depends on the variety more than the consumption uses and preferences. A similar pattern was found for total dietary fiber, extractable polyphenols and pasting profile. The cooking banana was confirmed, presenting a greater firmness and higher gelatinization temperature than those of the dessert banana. Such specific traits assessed were relevant to the differentiation of edible Mexican banana varieties and for their potential acceptability.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the support from CONACYT (grant 131762), SIP-IPN, COFAA-IPN and EDI-IPN. OLRR also acknowledges the scholarship from CONACYT-México.

LITERATURE CITED

- Aguirre-Cruz, A., A. Álvarez-Castillo, H. Yee-Madeira, and L.A. Bello-Pérez. 2008. Production of fiber-rich powder by the acid treatment of unripe banana flour. *J. Appl. Polym. Sci.* 109: 382-387.
- AACC American Association of Cereal Chemists. 2000. *Approved Methods of the AACC*. 10th ed. The Association. St. Paul, MN.
- Aparecida, C., F. Peroni-Okita, R. Barba, M. Shitakubo, F. Lajolo, and B. Cordenunsi. 2011. Plantain and banana starches granule structural characteristics explain the differences in their starch degradation patterns. *J. Agric. Food Chem.* 59: 6672-6681.
- Aparicio-Saguilan, A., E. Flores-Huicochea, J. Tovar, F. García-Suárez, F. Gutiérrez-Meraz, and L.A. Bello-Pérez. 2005. Resistant starch-rich powders prepared by autoclaving of native and linterized banana starch: partial characterization. *Starch/Stärke*. 57: 405-412.
- Arranz, S., J. M. Silván, and F. Saura-Calixto. 2010. Non extractable polyphenols, usually ignored, are the major part of dietary polyphenols a study on the Spanish diet. *Mol. Nutr. Food Res.* 54: 1-13.

por calorimetría de barrido diferencial (Cuadro 5). Aunque ambas variables (PT y temperatura de inicio) prueban la desorganización del almidón debido al calentamiento, presentan valores diferentes. La variedad Macho mostró la temperatura de formación de pasta más alta, la viscosidad pico y final más baja, y una baja capacidad de cocción. Morado y Enano exhibieron la viscosidad pico más alta, reflejando un hinchamiento alto de los granulos de almidón que podría deberse al contenido alto de amilosa, especialmente en el plátano de cocción (Dufour *et al.*, 2009). Una viscosidad pico alta a menudo se relaciona con el tamaño del gránulo, lo cual se confirmó para la variedad de plátano de postre, que mostró la mayor distribución de tamaños grandes de granulos (>40 μm) entre variedades de plátano, mientras que la distribución de tamaño de granulos más pequeño (<7 μm) y pequeño (7-20 μm) a intermedio (20-40 μm) fue equivalente (Figura 1). La variedad Morado presentó el valor de rompimiento más alto (BD) seguida de Enano, mientras que Macho y Valery mostraron la BD más baja, reflejando la fragilidad de los granulos hinchados bajo esfuerzo de corte constante a temperaturas altas. El mayor retroceso se encontró en Valery y el menor en Macho y Enano, dado que el retroceso es un indicador de la reorganización de las cadenas lineales, principalmente amilosa.

La viscosidad final y el patrón de retroceso fue similar entre variedades de plátano. Usualmente, la viscosidad final refleja la habilidad del almidón de producir un gel después de ser cocinado y enfriado. La viscosidad final indicó que Valery produce un gel más fuerte, lo cual se confirmó con su valor de consistencia mayor.

CONCLUSIONES

El plátano de cocción Macho podría ser apreciado altamente para procesamiento y usos industriales gracias a su alto rendimiento (peso, longitud y circunferencia, almidón, proteína y contenido de materia seca). La presencia benéfica para la salud del almidón resistente, depende de la variedad más que de los usos de consumo y preferencias. Un patrón similar se encontró para la fibra dietética total, los polifenoles extraíbles y el perfil de formación de pasta. El plátano de cocción se confirmó, presentando mayor firmeza y mayor temperatura de gelatinización que los plátanos de postre. Estas características específicas evaluadas

- AOAC, Association of Official Analytical Chemists. 2000. Official Methods of Analysis, seventeenth ed. Gaithersburg MD, USA.
- Ayo-Omogie, H. N., L. A. Adeyemi, and E. T. Otunola. 2010. Effect of ripening on some physicochemical properties of cooking banana (*Musa ABB Cardaba*) pulp and flour. *Int. J. Food. Sci. Tech.* 45: 2605-2611.
- Balasundrum, N., K. Sundrum, and S. Samman. 2006. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: antioxidant activity, occurrence and potential uses. *Food Chem.* 99: 191-203.
- Bello-Pérez, L. A., and O. Paredes-López. 2009. Starches of some food crops, changes during processing and their nutraceutical potential. *Food Eng.* 1: 50-65.
- Champ, M., A. M. Langkilde, F. Brouns, B. Kettlitz, and Y. Be Bail Collet. 2003. Advances in dietary fibre characterization. 1. Definition of dietary fibre, physiological relevance, health benefits and analytical aspects. *Nutr. Res. Rev.* 16: 71-82.
- Dadzie, B. K., and J. E. Orchard. 1977. Routine post-harvest screening of banana/plantain hybrids: criteria and methods *In*: INIBAP Technical Guidelines. International Plant Genetic Resources Institute (ed.). Rome, Italy. pp: 1-77.
- Dufour, D., O. Gibert, A. Giraldo, T. Sanchez, M. Reynes, J. P. Pain, A. Gonzalez, A. Fernandez, and A. Díaz. 2009. Differentiation between cooking bananas and dessert bananas. 2. Thermal and functional characterization of cultivated Colombian Musaceae (*Musa sp.*). *J. Agric. Food Chem.* 57: 7870-7876.
- Espinoza-Solis, V., S.L. Sanchez-Ambriz, B. Hamaker, and L.A. Bello-Pérez. 2011. Fine structural characteristic related to digestion properties of acid-treated fruit starches. *Starch/Stärke.* 63: 717-727.
- García-Mata, R., M. F. González-Machorro, R. C. García-Sánchez, J. S. Mora-Flores, A. González-Estrada, and M. A. Martínez-Damian. 2013. El mercado del plátano (*Musa paradisiaca*) en México, 1971-2017. *Agrociencia* 47: 399-410.
- Gibert, O., D. Dufour, A. Giraldo, T. Sanchez, M. Reynes, J. P. Pain, A. Gonzalez, A. Fernandez, and A. Díaz. 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: 7857-7869.
- Gibert, O., D. Dufour, M. Reynes, A. Prades, L. Moreno-Alzate, A. Giraldo, A. Escobar, and A. González. 2013. Physicochemical and functional differentiation of dessert and cooking banana during ripening – A key for understanding consumer preferences. *Acta Hortic.* 986: 269-286.
- Gibert, O., A. Giraldo, J. R. Uclés-Santos, T. Sanchez, A. Fernandez, P. Bohuon, M. Reynes, A. Gonzalez, J. P. Pain, and D. Dufour. 2010. A kinetic approach to textural changes of different banana genotypes (*Musa sp.*) cooked in boiling water in relation to starch gelatinization. *J. Food Eng.* 98: 471-479.
- Hartzfeld, P. W., R. Forkner, D. M. Hunter, and A. E. Hagerman. 2002. Determination of hydrolyzable tannins (gallotannins and ellagitannins) after reaction with potassium iodate. *J. Agric. Food. Chem.* 50: 1785-1790.
- fueron importantes para la diferenciación de las variedades de plátano comestible mexicanas y para su potencial aceptabilidad.
- Fin de la versión en Español—
- *—
- Haslinda, W. H., L. H. Cheng, L. C. Chong, and A. A. Noor-Aziah. 2010. Chemical composition and physicochemical properties of green banana (*Musa acuminata x balbisiana* Colla cv. Awak) flour. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 60: 232-239.
- Hendrich, S. 2010. Battling obesity with resistant starch. *Food Tech.* 64: 22-30.
- Huang, Y. T., and M. C. Bourne. 1983. Kinetics of thermal softening of vegetables. *J. Texture Stud.* 14: 1-9.
- Juarez-García, E., E. Agama-Acevedo, S. G. Sayago-Ayerdi, S. L. Rodríguez-Ambriz, and L. A. Bello-Pérez. 2006. Composition, digestibility and application in bread making of banana flour. *Plant Food Hum. Nutr.* 61: 131-137.
- Montreau, F.R., 1972. Sur le dosage des composés phénoliques totaux dans les vins par la méthode Folin-Ciocalteu. *Connaiss Vigne. Vin.* 24: 397-404.
- Ovando-Martinez, M., S. Sayago-Ayerdi, E. Agama-Acevedo, I. Goñi, and L. A. Bello-Pérez. 2009. Unripe banana flour as an ingredient to increase the undigestible carbohydrates of pasta. *Food Chem.* 113: 121-126.
- Pelissari, F. M., M. M. Andrade-Mahecha, P. J. do Amaral-Sobral, and F. C. Manegalli. 2012. Isolation and characterization of the flour and starch of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). *Starch/Stärke* 64: 382-392.
- Pulido, R., M. Hernández-García, and F. Saura-Calixto. 2003. Contribution of beverages to the intake of lipophilic and hydrophilic antioxidants in the Spanish diet. *Eur. J. Clin. Nutr.* 57: 1275-1282.
- Re, R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang, and C. Rice-Evans. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biol. Med.* 26: 1231-1237.
- Reed, J., R.E.McDowell, P. J. Van Soest, and P.J. Horvarth. 1982. Condensed tannins: A factor limiting the use of cassava forage. *J. Sci. Food Agric.* 33: 213-220.
- Rodríguez-Ambriz, S.L., J.J. Islas-Hernández, E. Agama-Acevedo, J. Tovar, and L.A. Bello-Pérez. 2008. Characterization of a fibre-rich powder prepared by liquefaction of unripe banana flour. *Food Chem.* 107: 1515-1521.
- Saura-Calixto, F., J. Serrano, and I. Goñi. 2007. Intake and bioaccessibility of total polyphenols in a whole diet. *Food Chem.* 101: 492-501.
- Singleton, V. L., R. Orthofer, and R. M. Lamuela-Ravento. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Meth. Enzymol.* 299: 152-178.
- Someya, S., Y. Yoshiki, and K. Okubo. 2002. Antioxidant compounds from banana (*Musa cavendish*). *Food Chem.* 79: 351-354.

- Vázquez-Castrejón, R., A. Romero-Cadena, y J. Figueroa-Viera. 2005. Paquete tecnológico para el cultivo de Plátano. Gobierno del Estado de Colima. <http://eiag.edu.ni/Pwebs/Carreras/FRUTYWEB/CONFERENCIAS%202011/UNIDAD%20II.%20Musaceas/Materiales%20Musaceas/Paquete%20tecnologico%20del%20cultivo%20del%20P%C3%A1tano.pdf>. (Consulta: noviembre 2012).
- Yomeni, M. O., J. Njoukam, and J. Tchango-Tchango. 2004. Influence of stage of ripeness of plantains and some cooking bananas of sensory and physicochemical characteristics of processed products. *J. Sci. Food Agric.* 84: 1069-1775.
- Zhang, P., and B. Hamaker. 2012. Banana starch structure and digestibility. *Carbohydr. Polym.* 87: 1552-1558.