

EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y FUNCIONAL DE HARINAS Y ALMIDONES DEL GERMOPLASMA DE *Musa* spp. EN COLOMBIA

PHYSICOCHEMICAL AND FUNCTIONAL EVALUATION OF FLOURS AND STARCHES FROM GERMPLASM OF *Musa* spp. IN COLOMBIA

Ayda Lilia Enriquez-Valencia^{1a*}, Juan Carlos Lucas-Aguirre², Álvaro Caicedo-Arana^{1b}, Eberto Rodríguez-Henao^{1c}, Germán Aguilera-Arango^{1d}, Dubert Yamil Cañar-Serna^{1e} y Jhon Albeiro Ocampo³

^{1a} Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, Centro de Investigación Palmira, Palmira, Valle del Cauca, Colombia
<https://orcid.org/0000-0003-1802-9613>

^{1b} Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, Centro de Investigación Palmira, Palmira, Valle del Cauca, Colombia
<http://orcid.org/0000-0001-8134-8276>

^{1c} Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, Centro de Investigación Palmira, Palmira, Valle del Cauca, Colombia
<https://orcid.org/0000-0002-5795-8864>

^{1d} Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, Centro de Investigación Palmira, Palmira, Valle del Cauca, Colombia
<http://orcid.org/0000-0002-3942-4658>

^{1e} Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, Centro de Investigación Palmira, Palmira, Valle del Cauca, Colombia
<http://orcid.org/0000-0002-8357-1401>

² Universidad del Quindío, Armenia, Quindío, Colombia
<https://orcid.org/0000-0001-5568-9907>

³ Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Palmira, Valle del Cauca, Colombia
<http://orcid.org/0000-0002-2720-7824>

* Autor para correspondencia: aenriquez@agrosavia.co

RESUMEN

Los plátanos (*Musa balbisiana*) y bananos (*M. acuminata*) son frutas importantes para la salud humana, debido a su contenido de almidón, vitaminas y proteínas. Sin embargo, los programas de mejoramiento genético se focalizan principalmente en aspectos agronómicos, sin tener en cuenta sus propiedades funcionales en los procesos agroindustriales. Por tal razón, el objetivo de este estudio fue evaluar las propiedades químicas y funcionales de harinas y almidones en 104 accesiones de la Colección Colombiana de Germoplasma de Musáceas de AGROSAVIA. Se evaluó la viscosidad, propiedades calorimétricas, poder de hinchamiento, solubilidad, contenidos de amilosa, materia seca en almidones y contenido de azúcares y ácidos orgánicos en harinas. Los resultados mostraron que el contenido de materia seca varió entre 87,2 – 89,4% y el de amilosa entre 27,5 – 29,3%, siendo criterios importantes para diferenciar grupos genómicos y orientación al uso. Se resalta los contenidos de

fructosa (11,4 - 17,2 mg/g en base seca) (bs) y glucosa (15,9 - 22,3 mg/g) (bs) como principales azúcares encontrados, así como el contenido de ácido cítrico (9,2 - 10,9 mg/g) (bs) y ácido málico (6,3 - 8,1 mg/g) (bs). El análisis de componentes principales logró reducir en un 58% la dimensionalidad de las propiedades evaluadas, explicando más del 70% de la variabilidad con 15 variables. Estas propiedades presentan alta variabilidad para discriminar entre accesiones y grupos formados, lo que indica potencial importante para la estructura de programas de fitomejoramiento en musáceas cultivadas en Colombia, con base en el sector agroindustrial.

Palabras clave: Agroindustria, amilosa, musáceas, propiedades funcionales, propiedades químicas.

ABSTRACT

Plantains (*Musa balbisiana*) and bananas (*M. acuminata*) are important fruits for human health, due to their high starch, vitamin and protein content. However, genetic improvement programs are focused mainly on agronomic aspects, ignoring their functional properties in agro-industrial processes. Therefore, the objective of this study was to evaluate the chemical and functional properties of flours and starches in 104 accessions from the AGROSAVIA Colombian Musaceae Germplasm Collection. Viscosity, calorimetric properties, swelling power, solubility, amylose content, and dry matter in starches, as well as contents of sugars and organic acids in flours were evaluated. The results showed that the dry matter varied between 87.2 - 89.4%, while the amylose content ranged between 27.5 - 29.3%, being important criteria to differentiate genomic groups and orientation to use. The contents of fructose (11.4 - 17.2 mg/g on a dry basis) (bs) and glucose (15.9 - 22.3 mg/g) (bs) are highlighted as the main sugars found, as well as the contents of citric acid (9.2 - 10.9 mg/g) (bs) and malic acid (6.3 - 8.1 mg/g) (bs). The principal component analysis managed to reduce the dimensionality of the evaluated properties by 58%, explaining more than 70% of the variability with 15 variables. These properties present high variability to discriminate between accessions and formed groups, which can be potentially used for the development of plant breeding programs in Musaceae cultivated in Colombia, based on the agro-industrial sector.

Keywords: Agro-industry, amylose, musaceae, functional properties, chemical properties.

INTRODUCCIÓN

Las musáceas son originarias del sudeste asiático e introducidas al continente americano (Simmonds, 1962; Yllano et al., 2020). Los plátanos (*Musa balbisiana*) y bananos (*Musa acuminata*) son de interés para el sector agroindustrial como fuente de almidón por su concentración y propiedades (Syukriani et al., 2021). Desde 1994 la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, tiene a cargo el sistema de Bancos de Germoplasma de la Nación Colombiana, amparado en el marco del Convenio sobre Diversidad Biológica, a partir de lo cual se conserva la diversidad genética de diferentes especies de interés agropecuario, entre ellas la Colección Colombiana de Germoplasma de Musáceas (CCGM).

El almidón como principal forma de almacenamiento de energía de las plantas, se encuentra especialmente en cereales, legumbres, tubérculos, raíces y en los plátanos (*M. balbisiana*) alrededor del 70%, representando una importante alternativa para la industria (Vega-Rojas et al., 2021; Bello-Pérez et al., 2000). El almidón está compuesto por dos carbohidratos, la amilosa y

la amilopectina. La amilosa está formada por cadenas sencillas de glucosa unidos por enlaces α (-1,4), que generalmente varía entre mil y 10 mil unidades. Por su parte, la amilopectina es un carbohidrato ramificado unido tanto por enlaces α (-1,4), como α (-1,6), que contienen alrededor de 100 mil unidades de glucosa (Aristizábal et al., 2007). El contenido de amilosa en el almidón de las musáceas presenta un rango amplio entre el 20 al 50%, dependiendo del cultivar. En el cultivar Valery es del 40,7%, le siguen el cultivar Cavendish con 19,5% y Dominico con 37 a 46% (Waliszewsk et al., 2003). Lo anterior explica el uso de este almidón para la formación de geles más fuertes en comparación con otras fuentes (Sanju et al., 2021).

Asimismo, entre las propiedades funcionales de los almidones están la solubilidad, poder de hinchamiento, viscosidad, estabilidad y claridad del gel, las cuales tienen lugar durante un tratamiento hidrotérmico (Aristizábal et al., 2007), en el cual, mientras se eleva la temperatura, el almidón pasa por tres fases importantes: gelatinización, gelificación y retrogradación (Hernández-Medina et al., 2008). En la gelatinización, durante el calentamiento

los gránulos de almidón se hidratan, hinchán, rompen y dispersan, modificando su viscosidad en el proceso (Ángeles, 2015). Posteriormente, en la gelificación hay una reorganización de moléculas, hasta la retrogradación que consiste en la formación de nuevas estructuras (Aristizábal et al., 2007).

Por otro lado, las diferencias estructurales y la proporción de amilosa y amilopectina en el almidón confieren propiedades particulares para ser usadas en procesos industriales orientados a modificar la textura, apariencia y consistencia de diferentes productos (Sanju et al., 2021). De acuerdo con Contreras-Pérez et al. (2018), los gránulos del almidón difieren dependiendo de su origen botánico, por ejemplo el almidón de la yuca (*Manihot esculenta*) contiene un 87% de amilopectina y el almidón del plátano un 75,4%, esta diferencia le confiere un mayor poder de expansión o hinchamiento al almidón de yuca, que favorece la preparación de productos de panadería mientras que, el almidón de plátano (*M. balbisiana*) es usado para la obtención de películas biodegradables con propiedades mecánicas (García-Tejeda et al., 2011). Por tal razón, el objetivo de este estudio fue evaluar las propiedades funcionales y químicas de almidones y harinas de 104 accesiones de la CCGM, para fortalecer los programas de fitomejoramiento en la selección de nuevas variedades con características de interés agroindustrial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Las accesiones evaluadas se encuentran establecidas en la CCGM en AGROSAVIA en el Centro de Investigación (C.I.) Palmira (Valle del Cauca, Colombia), a una altitud de 1.001 m.s.n.m (03°30'43,6"N, 76°18'53,5"O), en un área de 1,5 h, con distancia de siembra de cuatro metros entre surco y tres metros entre planta, en suelos franco-arcillosos (FAr) y topografía plana. Las condiciones agroclimáticas de precipitación promedio anual de 1.100 mm, humedad relativa promedio anual del 75% y temperatura promedio anual de 23°C. La evaluación de harinas y almidones se realizó en el laboratorio de análisis de calidad de la Alianza Bioversity - Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en el municipio de Palmira, departamento del Valle del Cauca, Colombia.

Material vegetal

La CCGM está conformada por 194 accesiones, de las cuales se evaluaron 104 seleccionadas por presentar frutos sin semilla, 51 de tipo plátano (*M. balbisiana*) con diferentes genomas: AAB,

ABB, AABB, AAAB y dos accesiones con genoma desconocido, 27 de banano (*M. acuminata*) en los grupos genómicos AA, AAA, AAAA, AAAB, AABB y una accesión con genoma desconocido y 26 de bananito (*M. acuminata*) diploides AA. Las accesiones tipo plátano (*M. balbisiana*) se encuentran en los subgrupos Bluggoe, Híbrido de FHIA, Iholena, Pelipita, Pisang Awak, Pome, Popoulou, Saba, Silk, Plantain Dominic y Hartón; en los bananos (*M. acuminata*) encontramos los subgrupos Cavendish, Gros Michel, Híbrido de FHIA, Ibota, Lujugira/Mutika, Pisang Kelat y Red; por su parte los bananitos (*M. acuminata*) representando el subgrupo Sucrier.

Los racimos fueron cosechados a madurez fisiológica por la edad de la planta (cuatro meses después de la emergencia de la bellota) y evaluados en estado de maduración 1 o verde, de acuerdo con lo reportado por Kader (2022) y según los requisitos descritos por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) para el acondicionamiento de los materiales.

Extracción de harinas y almidones

Las harinas se extrajeron a partir de la pulpa de los frutos que se encontraban en la primera y última mano, así como de la mano intermedia del racimo, las cuales fueron secadas en un horno ventilado a 40 °C durante 72 h, pulverizada a 0,5 mm con un tamiz No. 35 US, según la metodología descrita por Dufour et al. (2009). Para la extracción de almidón, la pulpa fue licuada con agua destilada durante un minuto a 6000 r.p.m. en un mezclador Waring (New Hartford, CT). La suspensión se lavó a través de un tamiz de 100 µm y se centrifugó a 7.000 r.p.m. durante 10 min a 4 °C con la finalidad de eliminar la fibra. Finalmente, para obtener una harina con humedad del 12%, se secaron las muestras durante 48 h a una temperatura de 40 °C (Dufour et al., 2009).

Propiedades químicas y funcionales de almidones

El contenido de amilosa / amilopectina se calculó colorimétricamente en reacción con yodo al 2%, después de someter los gránulos de almidón a dispersión y gelatinización. El cálculo del contenido de amilosa se realizó directamente de la curva estándar y se expresó como porcentaje (%) y el de amilopectina se obtuvo por diferencia (Aristizábal et al., 2007). El contenido de materia seca (MS) se calculó por diferencia de peso (seco y fresco) al secar en el horno durante 48 h a 105 °C. El proceso se cuantificó por triplicado, para determinar los parámetros estadísticos descriptivos, para cada una de las accesiones,

según la metodología descrita por Dufour et al. (2009).

Las propiedades funcionales como el poder de hinchamiento e índice de solubilidad se midieron calentando una suspensión acuosa de almidón a 60°C (Aristizábal et al., 2007). Las propiedades térmicas fueron calculadas utilizando la técnica de calorimetría diferencial de barrido (CDB), determinando la temperatura inicial (T_0) (°C), temperatura pico (T_p) (°C), temperatura final (T_{fin}) (°C) y entalpía de gelatinización (ΔH) (J/g), según la metodología descrita por Aristizábal et al. (2007) para análisis de almidón.

Para las propiedades de la pasta, como temperatura de empastamiento, viscosidad máxima, viscosidad caliente, viscosidad fría y viscosidad final, se formó una dispersión de almidón al 7% (bs) (AgNO_3 0,02 mol L⁻¹ = M) en agitación continua a 160 r.p.m. y se determinaron mediante el perfil de temperatura, que inició a los 50 °C durante 1 minuto, se incrementó desde 6 °C/min hasta 90 °C/5 min y disminuyó a 6 °C/min hasta 50 °C, en un analizador rápido de viscosidad RVA-4 (Viscoamilograma RVA Rapid Visco Analyser, Newport Scientific Narabeen, NSW, Australia), según la metodología descrita por Dufour et al. (2009). La claridad del gel se midió con un espectrofotómetro, al someter el paso de un haz radiante de longitud de onda de 650 nm, utilizando agua destilada como blanco. La suspensión de almidón fue calentada en agua en ebullición durante 30 min para la lectura, según metodología de Dufour et al. (2009).

Propiedades químicas de harinas

Los ácidos orgánicos, cítrico, cis-aconítico, fumárico, málico, oxálico, succínico, trans-aconítico y el contenido de azúcares, fructosa, glucosa, rafinosa y sacarosa fueron determinados en muestras de harina por Cromatografía Líquida de Alta Eficacia (HPLC, por sus siglas en inglés). Para el análisis se homogenizó en un ultraturrax (Janke and Kukul, T25) durante 30 s, 500 mg de harina (bs) y 10 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) (0,005 M) como fase móvil. Posteriormente, se agitó por 30 min a 350 r.p.m. en un mezclador (Microplate VWR, Germany) y la suspensión se centrifugó a 8.000 r.p.m. durante 10 min a 25°C. El sobrenadante fue filtrado a través de una membrana (Millex-GV de PVDF, 0,22 μm). Se utilizó una columna Biorad, Aminex HPX 87H, un detector de UV (MWD T 1365D) para los ácidos orgánicos y el índice de refracción (RID T1362A) para los azúcares, conectado en serie y ajustado a 210 nm. La separación de las muestras se realizó isocráticamente a un flujo de 0,6 ml min⁻¹, 30°C y un volumen de inyección de 15 μL .

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados por medio de parámetros estadísticos descriptivos; análisis de correlación simple con coeficiente de Pearson (significancia de $P < 0,001$); Análisis de Componentes Principales (ACP), seleccionando los primeros componentes (valor propio mayor a uno) y análisis de conglomerados, empleando la distancia Euclídea al cuadrado, con el método de varianza mínima de Ward para agrupar las accesiones. El análisis se realizó utilizando el software estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión 9.4 (SAS Institute, 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación de las harinas y almidones del germoplasma de *Musa* spp., logró identificar la amplia variabilidad presente en la CCGM, la cual permitió discriminar entre las accesiones evaluadas. También, se determinó el grado de asociación entre las variables, se redujo la dimensionalidad de estas y se agruparon las accesiones, como se discute a continuación.

Análisis de correlación

Según el análisis de correlación simple de Pearson (Tabla 1), el 17,5% de las asociaciones formadas fueron significativas ($P < 0,001$). De estas asociaciones, presentaron una alta relación (0,96 a 1) las diferentes viscosidades y temperaturas, atribuido a que estas variables corresponden a la fase de gelatinización, en donde al someter los granos de almidón a calentamiento se hidratan, aumentando su volumen y, por lo tanto, su viscosidad (Aristizábal et al., 2007).

Asimismo, los resultados muestran una relación positiva (0,7 a 0,95), entre el contenido de MS de harinas con el de almidón (0,82) y amilosa (0,72). Estas correlaciones están asociadas a la contribución genómica *balbisiana* y *acuminata*, atributos de interés por su importancia en la orientación al consumo y uso de cultivares (Dufour et al., 2009). Por su parte, los cultivares con mayor contribución *balbisiana* se destacaron por presentar el mayor contenido de MS y amilosa. Lo anterior establece que, la preferencia de consumo está asociada a plátanos (*M. balbisiana*) de cocción en agua o aceite. En cambio, las accesiones *acuminata*, con bajo contenido de MS y amilosa, son de preferencia de consumo en fresco o bananos (*M. acuminata*) de postre (Dufour et al., 2009). La fuerte correlación entre estas propiedades indica que, para futuros estudios, es posible inferir el contenido de una variable con otra (Franco e Hidalgo, 2003).

Otras variables con correlación positiva moderada fueron el contenido de ácido málico

Tabla 1. Matriz de correlación de Pearson entre las propiedades de harinas y almidón de 104 accesiones de la Colección Colombiana de Germoplasma de Musáceas.
Table 1. Pearson correlation matrix between flour and starch properties of 104 accessions from the Colombian Musaceae Germoplasm Collection.

	TemEmp	VscMax	VscPnC	VscPnF	Vscfin	To	Tp	Tfin	MSAlm	ClAGel	InSolb	Amils	Oxalico	Citrico	Malico	TraAcon	Sacaro	Glucos	Fructo	
TemEmp	1																			
VscMax	-0,09	1																		
VscPnC	-0,09	0,99	1																	
VscPnF	-0,17	0,98	0,99	1																
VscFin	-0,19	0,98	0,98	1,00	1															
To	0,44	0,10	0,10	0,07	0,05	1														
Tp	0,51	0,10	0,10	0,07	0,05	0,96	1													
Tfin	0,54	0,14	0,12	0,10	0,08	0,85	0,93	1												
DH	-0,10	-0,38	-0,40	-0,37	-0,36	-0,16	-0,16	-0,12												
MSAlm	0,31	-0,04	-0,05	-0,08	-0,08	0,38	0,46	0,54	1											
ClAGel	0,17	0,12	0,06	0,08	0,11	-0,13	-0,08	-0,03	0,04	1										
InSolb	-0,34	-0,57	-0,58	-0,53	-0,50	-0,21	-0,20	-0,15	0,10	0,03	1									
PodHich	-0,42	-0,14	-0,16	-0,10	-0,07	-0,31	-0,35	-0,38	-0,25	0,43	0,44	1								
Amils	0,43	0,08	0,05	0,03	0,03	0,49	0,60	0,67	0,58	0,09	-0,03	1								
MSHarin	0,43	0,04	0,01	-0,02	-0,02	0,47	0,57	0,65	0,82	0,17	0,06	0,72	1							
Oxalico	0,17	0,10	0,07	0,04	0,03	-0,02	0,00	0,02	0,12	0,06	-0,30	0,23	0,23	1						
CisAcon	-0,08	-0,10	-0,08	-0,07	-0,07	-0,01	-0,10	-0,15	-0,23	0,13	0,12	-0,32	-0,32	-0,40	1					
Citrico	-0,35	0,09	0,11	0,16	0,17	-0,01	-0,07	-0,13	-0,14	-0,02	0,16	-0,26	-0,26	-0,33	0,51	1				
Malico	-0,23	0,03	0,03	0,05	0,05	0,00	-0,05	-0,12	-0,07	-0,02	0,06	-0,13	-0,13	0,00	0,28	0,01	1			
TraAcon	0,01	-0,15	-0,14	-0,13	-0,13	0,01	-0,08	-0,13	-0,13	0,07	0,09	-0,22	-0,12	0,28	0,19	0,28	0,53	1		
Succin	-0,06	0,12	0,11	0,11	0,11	0,10	0,05	0,00	0,05	-0,03	-0,07	0,07	0,23	0,19	0,28	-0,16	-0,13	-0,13	1	
Fumaric	0,28	-0,09	-0,08	-0,14	-0,15	0,07	0,11	0,13	0,20	-0,03	-0,12	0,05	0,08	-0,26	0,00	0,07	0,01	0,01	0,01	1
Rafino	0,07	0,11	0,08	0,09	0,08	-0,05	-0,03	-0,04	-0,01	0,06	-0,16	0,03	0,58	0,00	0,30	0,36	0,36	0,36	0,36	1
Sacaro	-0,15	-0,13	-0,11	-0,12	-0,12	-0,31	-0,36	-0,35	-0,25	-0,10	0,07	-0,39	-0,12	0,24	0,30	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	1
Glucos	-0,11	-0,13	-0,13	-0,11	-0,10	-0,16	-0,16	-0,15	-0,09	0,11	0,16	-0,04	-0,31	0,43	0,55	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	1
Fructo	-0,12	-0,14	-0,14	-0,11	-0,11	-0,14	-0,14	-0,15	-0,10	0,05	0,16	-0,05	-0,35	0,43	0,55	-0,13	-0,13	-0,13	-0,13	1

Valores en negrita, representan relaciones estadísticamente significativas (P<0,001).

TemEmp = Temperatura de empastamiento (°C), **VscMax** = Viscosidad máxima (°C), **VscPnC** = Viscosidad de la pasta caliente (cp), **VscPnF** = Viscosidad de la pasta fría (cp), **Vscfin** = Viscosidad final (cp), **To** = Temperatura inicio (°C), **Ip** = Temperatura pico (°C), **Tfin** = Temperatura final (°C), **DH** = Entalpia de gelatinización ΔH (J/g), **MSAlm** = Materia Seca de almidón (%), **ClAGel** = Claridad del gel (%), **InSolb** = Índice de solubilidad (% B.S.), **PodHich** = Poder de Hinchamiento (g/g), **Amils** = Amilosa (%), **MSHarin** = Materia seca Harinas (%), **Oxalico** = Oxalico (mg/g. de B.S.), **CisAcon** = Cis-aconítico (mg/g. de B.S.), **Citrico** = Cítrico (mg/g. de B.S.), **Málico** = Málico (mg/g. de B.S.), **TraAcon** = Trans-aconítico (mg/g. de B.S.), **Succin** = Succinico (mg/g. de B.S.), **Fumaric** = Fumárico (mg/g. de B.S.), **Rafino** = Rafinosa (mg/g. de B.S.), **Sacaro** = Sacarosa (mg/g. de B.S.), **Glucos** = Glucosa (mg/g. de B.S.) y **Fructo** = Fructosa (mg/g. de B.S.).

Fuente: Elaboración propia, programa estadístico SAS (SAS Institute, 2018).

con glucosa y fructosa, el cual estuvo acorde con lo reportado por Quiceno et al. (2014), quienes determinaron las características fisicoquímicas en frutos de musáceas y encontraron correlación entre el aumento en los contenidos de azúcares y ácido málico.

Análisis de componentes principales - ACP

Este análisis mostró cinco componentes con valores propios mayores a uno, los cuales explican el 71% de la variabilidad total acumulada e indica la contribución de las variables a la conformación de cada componente (Tabla 2). En el primer componente, denominado temperaturas, contribuyeron a la variabilidad, las

temperaturas de T_0 (0,32), T_p (0,36) y T_{fin} (0,37), relacionados con el contenido de amilosa (0,32), MS de almidón (0,28) y harinas (0,31). Se destacó el contenido de MS y amilosa, como variables utilizadas para diferenciar entre plátanos (*M. balbisiana*) y bananos (*M. acuminata*) y orientar la preferencia de consumo y uso de las accesiones (Dufour et al., 2009).

En el segundo componente, nombrado azúcares, se destacaron por su mayor contribución y relación entre sí, los contenidos de glucosa (0,43) y fructosa (0,44). De acuerdo con lo anterior, Martínez-Cardozo (2016) encontró en la evaluación química de 12 genotipos de esta colección, que la separación de los cultivares se

Tabla 2. Contribución de variables a la conformación de los componentes y autovalores de la matriz de correlación de las propiedades de harinas y almidón.
Table 2. Contribution of variables to the conformation of the components and eigenvalues of the correlation matrix of flour and starch properties.

Abreviatura	Variables	C1 Temperaturas	C2 Azúcar	C3 Viscosidad/ Insolubilidad	C4 Azúcar/ Ácido	C5 Temperatura/ Azúcar
Propiedades funcionales y orgánicos	TemEmp	0,28	0,05	0,01	0,09	-0,46
	VscFin	0,04	-0,08	0,50	-0,11	0,37
	To	0,32	0,21	0,12	-0,16	-0,07
	Tp	0,36	0,21	0,08	-0,12	-0,05
	Tfin	0,37	0,20	0,03	-0,08	-0,03
	DH	-0,11	0,08	-0,36	0,21	-0,23
	MSAlm	0,28	0,16	-0,21	0,14	0,18
	InSolb	-0,13	0,16	-0,53	-0,05	0,22
	PodHich	-0,21	0,03	-0,25	0,001	0,38
	Amils	0,32	0,14	-0,11	0,16	0,16
Ácidos	MSHarin	0,31	0,23	-0,16	0,13	0,17
	Oxálico	0,11	-0,27	0,08	0,54	0,04
	CisAcon	-0,16	0,22	0,09	-0,29	-0,27
	Cítrico	-0,17	0,31	0,24	-0,09	0,27
	Málico	-0,14	0,33	0,22	0,23	0,10
Azúcar	Rafino	0,017	-0,10	0,20	0,54	0,04
	Sacaro	-0,23	0,13	0,07	0,14	-0,40
	Glucos	-0,19	0,43	0,07	0,21	-0,03
	Fructo	-0,18	0,44	0,08	0,18	-0,05
	Autovalor	5,43	2,97	1,95	1,75	1,38
Proporción varianza		0,29	0,16	0,10	0,09	0,07
Varianza explicada Acumulada		0,29	0,44	0,54	0,64	0,71

Fuente: Elaboración propia, programa estadístico SAS (SAS Institute, 2018).

debió en especial, a la concentración de azúcares totales y resaltó la importancia de la glucosa y fructosa como principales azúcares reductores encontrados en pulpas de plátano (*M. balbisiana*) y banano (*M. acuminata*).

Para el tercer componente, se destacó la contribución positiva de la viscosidad final (0,50) y la contribución negativa del índice de solubilidad (-0,53), importantes en la determinación de la calidad de los almidones. Estos resultados son confirmados por Dufour et al. (2009), quienes destacan la viscosidad en el primer componente, como un criterio de mayor aporte para la clasificación de cultivares de musáceas según su forma de consumo. Por otro lado, los contenidos de ácido oxálico (0,54) y de rafinosa (0,54) son los que más contribuyeron a la formación del cuarto componente, reafirmando su importancia al presentar un amplio rango de variación entre las accesiones.

En el quinto componente, discriminando la variabilidad encontrada, se destacaron por su contribución variables importantes en la calidad de almidones como temperatura de empastamiento (-0,46), poder de hinchamiento (0,38) y contenido de sacarosa (-0,40), acorde con lo reportado por Dufour et al. (2009), quienes resaltaron la temperatura de empastamiento en el segundo componente, como una variable importante en determinar la utilización de los almidones en la industria. En esta investigación se logró disminuir la dimensionalidad de 26 a 15 variables discriminantes entre las 104 accesiones evaluadas, explicando el 71% de la variabilidad total.

Análisis jerárquico de clúster

En el análisis de agrupamiento jerárquico por clúster, los resultados se presentan gráficamente mediante un dendograma (Fig. 1). Para la identificación del número de grupos formados, se tomó como referencia el estadístico Pseudo F, tomando como punto de corte 0,073 Semiparcial R-cuadrado, para formar tres clústeres.

Las accesiones evaluadas presentaron una tendencia de agrupamiento por tipos, subgrupos y genoma (Fig. 1). En el primer clúster, el 96% de las accesiones son de tipo plátano (*M. balbisiana*) en los subgrupos Plantain Dominico y Hartón (AAB), híbridos de FHIA (AAAB), Bluggoe (ABB), Popoulu (AAB), Pelipita (ABB), Silk (AAB), Saba (ABB) y Pisang (ABB). No obstante, también se agrupa las accesiones Peciolos oscuros (subgrupo desconocido) y SABO 04, Diploide acuminata (AA), subgrupo Sucrier, tipo bananito. El segundo clúster lo conforman 40 accesiones, resaltando las accesiones diploides *acuminata* (AA) del subgrupo Sucrier tipo

bananito con el 58%. Sin embargo, también agrupa accesiones tipo banano (*M. acuminata*) (42%). Las 17 accesiones restantes, se agruparon en el tercer clúster, sobresaliendo las accesiones tipo banano (*M. acuminata*) (53%), seguida de los plátanos (*M. balbisiana*) (35%) y bananitos (*M. acuminata*) (12%).

Las accesiones agrupadas en el primer clúster (Tabla 3) se destacaron por presentar los mayores valores en las temperaturas, MS de almidón (92,58%), en harinas (84,77%), claridad del gel (10,86%) y contenido de amilosa (32,17%). No obstante, estas accesiones presentaron los valores más bajos en poder de hinchamiento (15,88 g/g), contenido de sacarosa (2,01 mg/g) y ácidos cis-aconítico (0,11 mg/g), cítrico (8,73 mg/g) y trans-aconítico (0,07 mg/g). Esta relación entre las propiedades químicas y funcionales de almidones es atribuida a la contribución genética *acuminata* y *balbisiana*, de las accesiones que lo conforman. La dominancia del genoma *balbisiana* (BB) presenta alto contenido de amilosa y MS, pero baja cantidad de azúcares (Martínez-Cardozo et al., 2016).

Las accesiones del segundo clúster (Tabla 3) se caracterizan por presentar los valores más bajos en todas las propiedades químicas y funcionales de almidones de este estudio, excepto en la temperatura de empastamiento (74,82°C) y el poder de hinchamiento (16,96/g). Asimismo, presentan los mayores contenidos en rafinosa (2,26 mg/g) y ácido oxálico (1,92 mg/g), indicados en la Tabla 3. En este sentido, los almidones con altos valores en temperatura de empastamiento ayudan a retrasar la absorción de agua por los gránulos de almidón en los procesos agroindustriales, por el contrario, las temperaturas de empastamiento más bajas es un indicador de la energía mínima requerida para cocinar y el costo energético asociado al proceso (Moreno, 2019).

En el tercer clúster se agrupan las accesiones con los almidones más viscosos en las diferentes etapas del proceso hidrotérmico. Además, presentan los valores más altos en solubilidad (9,93%), poder de hinchamiento (18,25 g/g), contenido de sacarosa (8,36 mg/g), glucosa (36,75 mg/g), fructosa (44,37 mg/g), ácidos cis-aconítico (0,20 mg/g), cítrico (16,02 mg/g), málico (11,80 mg/g), succínico (10,90 mg/g) y los valores más bajos para la temperatura de empastamiento (73,81 °C), rafinosa (1,31 mg/g), ácido oxálico (0,16 mg/g) y ácido fumárico (0,14 mg/g), indicados en la Tabla 3. En este sentido, sobresalen las accesiones Guineo-Negro, PV-0344, Banano-Chico, Bendetta, GuayaboB, FHIA-1, Fougamou, Fhia-2, Fhia-110 y Gros-Michel-Común, como promisorias para el uso de

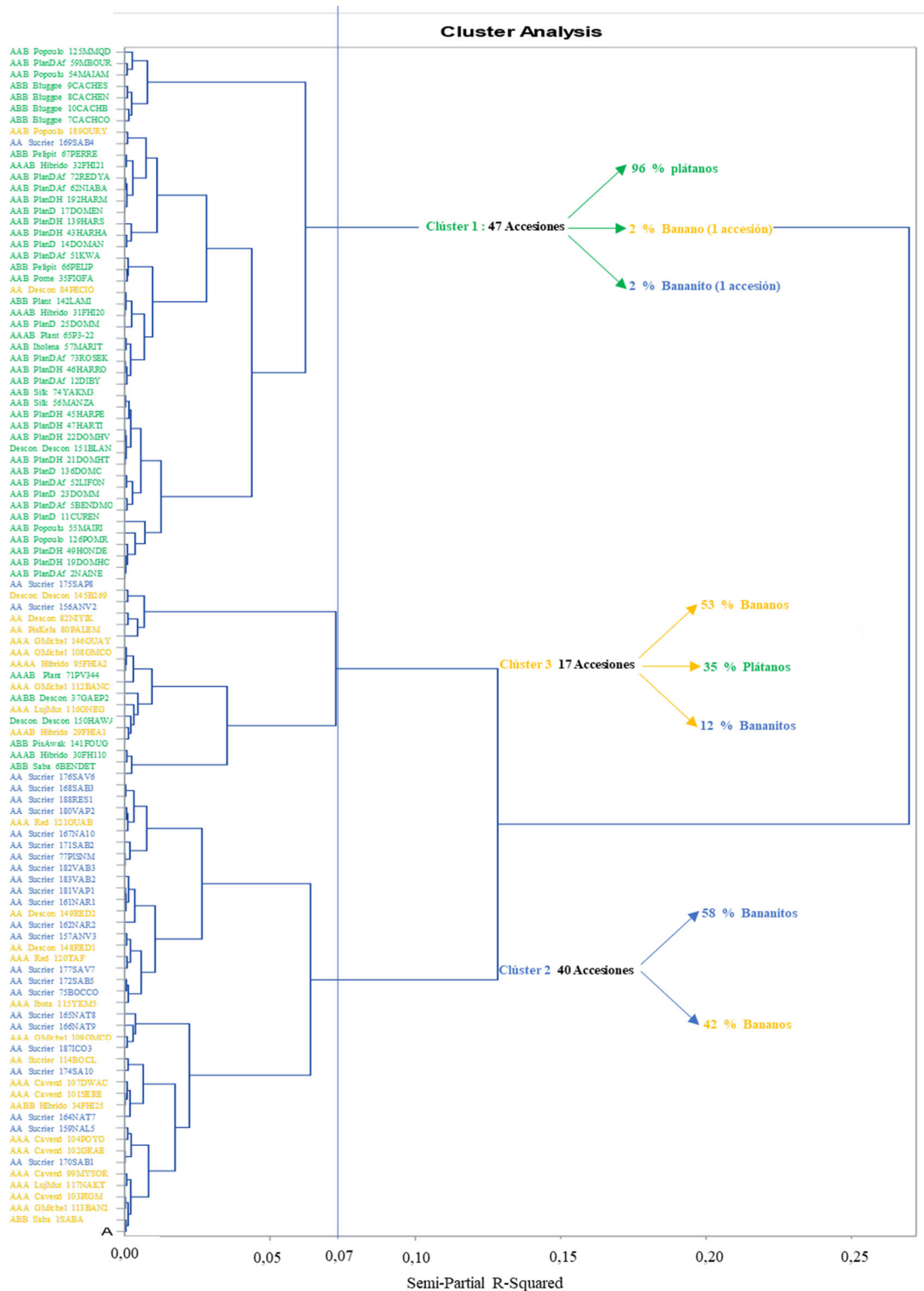


Fig. 1. Dendrograma de análisis de clasificación jerárquica para 104 accesiones de la Colección Colombiana de Germoplasma Musáceas. Fuente: Elaboración propia, programa estadístico SAS (SAS Institute, 2018).

Fig. 1. Dendrogram of the hierarchical classification analysis for 104 accessions from the Colombian Musáceas Germplasm Collection. Source: Own elaboration, SAS statistical software (SAS Institute, 2018).

Tabla 3. Descriptivos para propiedades fisicoquímicas de almidón y harinas en los clústeres formados.
Table 3. Descriptive for physicochemical properties of starch and flour in the clusters formed.

Abreviatura	Variables	Clúster 1 (Plátanos)		Clúster 2 (Banaitos)		Clúster 3 (Bananos)	
		Media	CV (%)	Media	CV (%)	Media	CV (%)
TemEmp	Temperat. Empastamiento (°C)	77,79	4,20	74,82	4,57	73,81	3,26
VscMax	Viscosidad máxima (cP)	1354	33,89	1312	39,99	1441	31,59
VscPtC	Viscosidad pasta caliente (cP)	1308	32,59	1291	39,64	1410	31,14
VscPtF	Viscosidad de la pasta fría (cP)	1664	34,58	1643	42,47	1878	34,43
VscFin	Viscosidad final (cP)	1773	35,98	1746	43,65	2013	35,28
To	Temperatura inicial (°C)	71,56	1,86	69,54	1,75	70,33	1,93
Tp	Temperatura pico (°C)	75,90	1,76	73,14	1,85	74,02	2,22
Tfin	Temperatura final (°C)	85,21	1,89	81,33	1,90	82,23	2,52
DH	Entalpia gelatinización ΔH (J / g)	17,98	7,25	17,96	7,70	17,96	8,64
MSAlm	Materia Seca almidón (%)	92,58	3,57	84,08	4,58	86,28	6,46
ClaGel	Claridad del gel (%)	10,86	31,55	10,21	23,94	10,45	33,23
InSolb	Índice de solubilidad (%) (bs)	9,75	18,07	9,56	18,24	9,93	14,90
PodHich	Poder de Hinchamiento (g / g)	15,88	15,51	16,96	15,15	18,25	16,95
Amils	Amilosa (%)	32,17	9,99	24,88	11,05	26,53	14,56
MSHarin	Materia seca Harinas (%)	84,77	13,93	39,16	22,79	58,08	43,19
Oxalico	Oxálico (mg/g) (bs)	1,88	127,50	1,92	77,13	0,16	93,95
CisAcon	Cis-aconítico (mg/g) (bs)	0,11	60,93	0,14	55,66	0,20	29,16
Citrico	Cítrico (mg/g) (bs)	8,73	37,41	9,18	41,19	16,02	23,20
Malico	Málico (mg/g) (bs)	6,67	46,30	6,47	40,22	11,80	28,24
TraAcon	Trans-aconítico (mg/g) (bs)	0,07	46,79	0,09	59,02	0,09	51,20
Succin	Succínico (mg/g) (bs)	10,48	42,95	10,32	44,06	10,90	38,47
Fumaric	Fumárico (mg/g) (bs)	0,18	60,88	0,18	54,67	0,14	68,25
Rafino	Rafinosa (mg/g) (bs)	1,70	108,41	2,26	100,96	1,31	162,26
Sacaro	Sacarosa (mg/g) (bs)	2,01	169,37	6,07	136,45	8,36	133,03
Glucos	Glucosa (mg/g) (bs)	10,44	70,26	9,36	81,20	36,75	60,53
Fructo	Fructosa (mg/g) (bs)	14,84	61,38	13,30	71,85	44,37	49,70

CV (%): Coeficiente de variación.

Fuente: Elaboración propia, programa estadístico SAS (SAS Institute, 2018).

almidones en proceso de alimentos como salsa y sopas por los valores en viscosidad, poder de hinchamiento y solubilidad (Dufour et al., 2009).

Amilosa

El rango encontrado en este estudio (24,8 a 32,17%) es superior al reportado por Dufour et al. (2009), quienes evaluaron 23 cultivares de musáceas, indicando contenidos entre 15,4 y 24,9%. Sin embargo, coincide en la relación del contenido de amilosa para los bananos (*M. acuminata*) de postre por debajo de 19% y para los plátanos (*M. balbisiana*) de cocción superior a 21%. El bajo contenido, se explica por la contribución genómica *acuminata*, en las accesiones tipo banano (*M. acuminata*) y mayor contenido para las accesiones con mayor contribución *balbisiana* (Dufour et al., 2009). Asimismo, esta variación está relacionada con la interacción entre el genotipo

y el ambiente (Vergara, 2008). De esta manera, es importante utilizar este criterio para generar estrategias de fitomejoramiento encaminadas en orientar diferentes usos de las accesiones y destacar nuevas variedades (Gibert et al., 2009).

Materia seca (%)

Se destacaron los altos contenidos tanto de almidón como de harinas para las accesiones agrupadas en el primer clúster, donde se reportaron contenidos promedio de 92,58% para almidón y 84,77% para harinas, respectivamente. En el segundo grupo predomina el genoma *acuminata* con 84,08% en almidón y 39,16% en harinas. Por su parte, las accesiones Red-Yade, Maia-Maoli, Currare-Enano, Dominico-Enano, Hartón-Pepo y FHIA-21, sobresalieron al presentar porcentajes de MS en almidón superiores al 96%. Estos resultados están acordes

con los encontrados en la caracterización de cultivares de acuerdo con la preferencia de consumo, basados en sus propiedades (Dufour et al., 2009). La MS es una de las características que diferencia los cultivares de postre (*M. acuminata*) a los de cocción (*M. balbisiana*), reportando un rango entre 19,6 a 30,9% para cultivares de postre y 26,5 a 45% para los de cocción (Gibert et al., 2009).

Viscosidad en proceso hidrotérmico de almidón

Las curvas de empastamiento de los almidones mostraron que las viscosidades evaluadas marcaron diferencias en los grupos conformados (Tabla 3). Los almidones con mayor viscosidad se agruparon en el clúster tres, los cuales registran viscosidad de la pasta caliente en 1.410,4 cP y viscosidad final en 2.013,1 cP, destacando las accesiones del subgrupo Gros Michel (AAA), Lujugira/Mutika (AAA) e híbridos de FHIA (AAAB y AAAA). Las accesiones agrupadas en el segundo clúster presentaron los menores valores, desde 1.291 cP para la viscosidad de la pasta caliente, hasta 1.746 cP en la viscosidad final, en donde se destacan las accesiones diploides *acuminata* (AA) del subgrupo Sucrier y triploide del subgrupo Red. De acuerdo con Patermina et al. (2016), el tercer clúster presentaría mayor tendencia a absorber agua en el proceso de calentamiento, lo que implica mayor tamaño,

ocupar un mayor volumen y otorgar una viscosidad del producto adoptando propiedades no newtonianas.

En la Fig. 2 se presenta el análisis de las curvas de empastamiento por grupos genómicos, en la cual se observa la mayor viscosidad para las accesiones con mayor contribución del genoma *acuminata*. No obstante, el grupo genómico AA (color naranja) presenta la menor viscosidad en mayor tiempo (1.746 cP). Esto implica que, si se orienta la línea agroindustrial al desarrollo de alimentos fluidos, sería importante trabajar con almidones de baja viscosidad como el grupo (AA), o si se requiere mejorar la estabilidad de productos como salsas o sopas se pueden orientar a accesiones con almidones de mayor viscosidad (Mitchell, 1990). Estos resultados, coinciden con lo reportado por Dufour et al. (2009), quienes afirman que los bananos (*M. acuminata*) con mayor viscosidad presentan facilidad de cocción y almidones menos resistentes a la temperatura, lo cual representa una alternativa para el uso de estos almidones con menos consumo de energía. Asimismo, y de acuerdo con Hoyos-Leyva et al. (2012), es importante identificar materiales que tengan un tiempo de cocción inferior a los cinco minutos, ya que la demanda de energía para lograr el punto de gelatinización es menor, lo que lo perfila con un posible uso industrial.

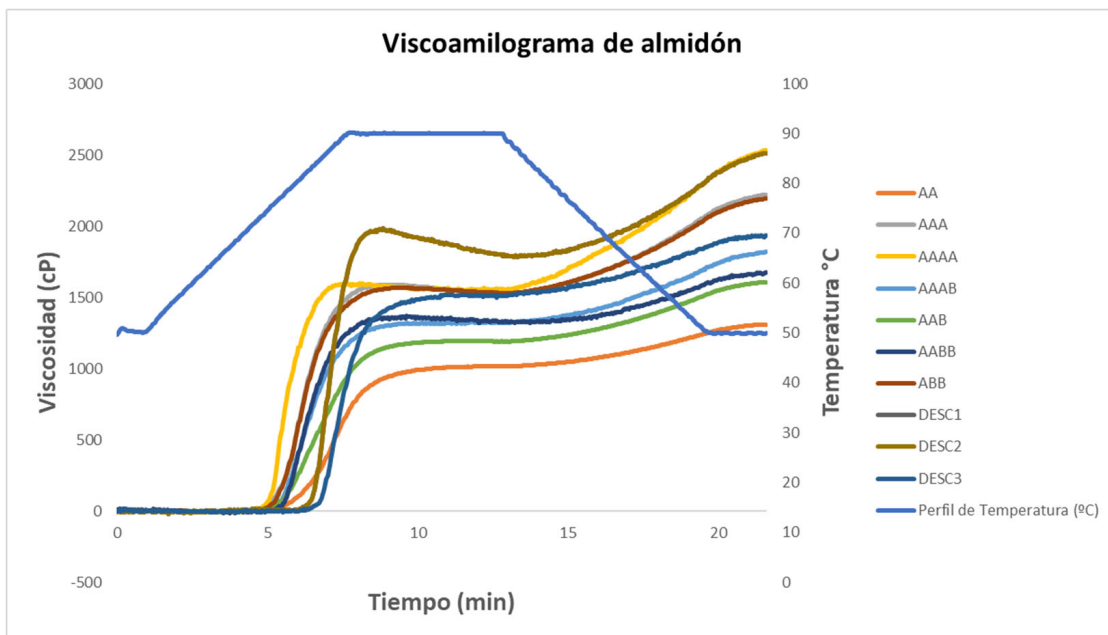


Fig. 2. Viscoamilograma de almidón de los grupos genómicos de las accesiones de la Colección Colombiana de Germoplasma de Musáceas. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 2. Starch viscoamylogram of the genomic groups of the accessions of the Colombian Musaceae Germplasm Collection. Source: Own elaboration.

Temperaturas en proceso hidrotérmico de almidón

Los valores más bajos se presentan en el segundo clúster, donde se registraron promedios de T_o de 69,54 °C y T_{fin} 81,33 °C (Tabla 3). Estos resultados coinciden con los reportados por Montoya et al. (2014), quienes indican la diferencia entre las temperaturas del banano (*M. acuminata*) Gros Michel (T_o 33,59°C y T_{fin} 64,37°C) y el subgrupo plantain (T_o 68°C y T_{fin} 81 °C). Estas diferencias han sido atribuidas a las regiones amorfas durante la gelatinización de la amilopectina, la interacción de la composición reflejada por una menor estabilidad interna del gránulo y deformación de su arquitectura y ramificaciones, asociado posiblemente un mayor número de regiones cristalinas (Aristizábal et al., 2007). Los subgrupos Plantain Dominico (AAB), Dominic Hartón (AAB), Popoulou (AAB) y Silk (AAB) se destacaron en el clúster uno por presentar los mayores valores, que van desde 71,0 a 74 °C, acorde con lo reportado por Lucas y Quintero (2016).

Índice de solubilidad y poder de hinchamiento

Estos parámetros evidencian la interacción entre las cadenas del almidón y la concentración de amilosa y amilopectina (Lawal et al., 2011). Se ha reportado que ha mayor contenido de amilosa en los gránulos de almidón aumenta la solubilidad (Contreras-Pérez et al., 2018) y el poder de hinchamiento está directamente relacionado con el contenido de amilopectina, porque la amilosa actúa como diluyente e inhibidor del hinchamiento, de esta manera, los grupos genómicos de mayor contribución *acuminata* que poseen almidones ricos en amilopectina, se caracterizan por una mayor capacidad de hinchamiento y una menor solubilidad.

Las accesiones agrupadas en el tercer clúster sobresalieron por presentar la mayor solubilidad (9,93%) y poder de hinchamiento (18,25 g/g), a diferencia de los demás clústers (Tabla 3). Se destacaron las accesiones diploides *acuminata* (AA) como: Palembang, Niyarma-Yik, BS269, Anva02 y Sapi08 con 9 - 12% de solubilidad y 20 a 22 g/g, en poder de hinchamiento, presentando los valores más altos. En el segundo grupo se encontraron las accesiones Gros-Michel-Cocos (AAA), Yangambi-KM5 (AAA), Natu08 (AA) y Natu09 (AA), presentando los valores más bajos para el índice de solubilidad (6,0 - 8,3%) y poder de hinchamiento (12,6 a 13,9 g/g). De acuerdo con ello, las accesiones que presentaron alto índice de solubilidad indican mejor dispersión del almidón en sistemas acuosos, lo que permite sugerirlos en aplicaciones para alimentos, como espesantes en sopas o aditivos para postres

congelados (Aristizábal et al., 2007). Asimismo, la industria alimentaria busca almidones con buena capacidad de absorción de agua, por lo que pueden incluirse en una gran variedad de procesos. Por lo contrario, la baja capacidad de retención de agua, en los almidones, los convierte en ingredientes funcionales que proporcionan un buen manejo y mejoras en la textura en el producto final, obteniendo una mejor sensación en la boca, color y sabor (Contreras-Pérez et al., 2018).

Azúcares

Se resalta la diferencia entre las concentraciones de glucosa, fructosa, sacarosa y rafinosa entre los diferentes grupos formados (Tabla 3). Las accesiones con mayor concentración de glucosa, fructosa y sacarosa se agruparon en el tercer clúster con 36,8, 44,4 y 8,4 mg/g, respectivamente, destacando las accesiones Palembang (AA), Niyarma-Yik (AA), BS269 (Desconocido), Anva02 (AA), Sapi08 (AA) Benedetta (ABB), FHIA110 (AAAB) y Fougamou (ABB). Estos resultados difieren de lo encontrado en la caracterización de cultivares de musáceas, donde no se reporta diferencias entre los subgrupos en etapa verde (Gibert et al., 2009).

De igual manera, los mayores contenidos de rafinosa se presentaron en el segundo clúster con 2,3 mg / g (Tabla 3), donde sobresalieron las accesiones de los subgrupos Cavendish (AAA), Sucrier (AA) y FHIA 25 (AABB). Los principales azúcares presentes en las 104 accesiones de la CCGM fueron fructosa (44,4 mg/g), glucosa (36,75 mg/g) y sacarosa (8,36 mg/g), lo cual se encuentra en concordancia con lo reportado por Moreno (2019), quien evaluó los procesos bioquímicos en cultivares de musáceas.

Ácidos orgánicos

Los ácidos de mayor concentración en la colección de estudio, o principales contribuyentes a la acidez de los frutos, fueron el ácido málico, cítrico y succínico, y en menor concentración el ácido oxálico, cis-aconítico, Trans-aconítico y fumárico, los cuales reflejan un metabolismo más activo, al estar implicados con el ciclo de Krebs. El ácido málico, por su concentración, es el principal ácido en las musáceas, lo cual coincide con lo reportado para los cultivares Guineo, Gros Michel y Dominic Hartón (Moreno, 2019).

La concentración de ácidos orgánicos en las harinas indicó diferencias entre los grupos formados (Tabla 3), como lo demostraron Etienne et al. (2014), lo cual indica que el contenido de ácidos orgánicos en la pulpa de musáceas se controla principalmente por el genotipo. De acuerdo con el tercer clúster, se destacaron las

accesiones con el mayor contenido en ácido cis-aconítico (0,20 mg/g), cítrico (16,02 mg/g), málico (11,80 mg/g), trans-aconítico (0,09 mg/g) y succínico (10,90 mg/g). El ácido cis-aconítico se encontró con mayor concentración en las accesiones Gaep2 (AABB), Anva02 (AA) y GuayaboB (AAA). Igualmente, las accesiones Benedetta (ABB), PV 0344 (AAAB) y Anva02 (AA) son las que presentan mayores contenidos de ácido cítrico. Asimismo, BS269 (Desconocido), NiyarmaYik (AA) y Fougamou (ABB), sobresalen con los mayores contenidos de ácido málico y para el ácido trans-aconítico y succínico se destacaron las mayores concentraciones en Guineo Negro (AAA) y FHIA2 (AAAA). Acorde con lo encontrado por Moreno (2019), en la evaluación del comportamiento postcosecha de musáceas, quien destaca que el ácido Trans-aconítico aumentó durante la maduración de los frutos y que Gros Michel presentó el mayor contenido de Tras-aconítico (0,24 mg/g bs \pm 0,004), seguido por Dominico Hartón (0,18 mg/g bs \pm 0,011) y por último, Guineo (0,12 mg/g bs \pm 0,001) al final de la maduración de consumo.

En el segundo clúster, el ácido oxálico fue el más destacado (1,92 mg/g) con la mayor concentración en las accesiones Natu10, Save06, Sabo03, Sabo02, Natu08 y PisangMas, diploides AA, del subgrupo Sucrier. De acuerdo con Moreno (2019), encontró que en etapa uno de maduración (verde) el contenido de este ácido fue mayor para Guineo (0,22 mg/g bs \pm 0,004) que para Dominico Hartón y no se detectó en Gros Michel (*M. acuminata*, de postre), explicando que el ácido oxálico proporciona astringencia a los frutos y se pierde en la maduración. Asimismo, el ácido fumárico se destaca en el primer y segundo clúster (0,18 mg/g) con las accesiones YangambiKm3 (AAB), MaiaMaoli (AAB), RedYade (AAB), Pompo o CominoRisaralda (AAB).

CONCLUSIONES

La evaluación fisicoquímica y funcional permitió identificar grupos genómicos y accesiones con características promisorias de potencial agroindustrial. Las accesiones Red-Yade, Maia-Maoli, Currare-Enano, Dominico-Enano, Hartón-Pepo y FHIA-21, se destacaron por su alto contenido de amilosa y materia seca, promisorias para continuar en futuros programas de fitomejoramiento.

Las características físicas del fruto indican diferencias altamente significativas entre las accesiones evaluadas, en donde se destacan los grupos genómicos (AAA), por los mayores tamaños de racimo y contenido de pulpa, para mejorar el rendimiento en harinas. Asimismo, se

logró disminuir la dimensionalidad a partir de la selección de las variables más discriminantes como temperatura de inicio de gelatinización, temperatura pico, temperatura final, materia seca de almidón y de harinas, amilosa, glucosa, fructosa, índice de solubilidad, viscosidad final, ácido oxálico, rafinosa, sacarosa, poder de hinchamiento y temperatura de empastamiento, la cual explica el 71% de la variabilidad. Los ácidos con mayor concentración fueron el ácido málico, cítrico y succínico y en menor concentración el ácido oxálico, cis-aconítico, Trans-aconítico y fumárico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a AGROSAVIA, al Departamento de Agrobiodiversidad por la financiación del estudio y al grupo de estadística por su orientación en el método. Al grupo de trabajo del laboratorio de raíces, tubérculo y bananos de Alianza Bioersity CIAT por su acompañamiento en el análisis de muestras. A los revisores de la revista, cuyas observaciones y sugerencias precisaron los contenidos desarrollados en el artículo.

LITERATURA CITADA

- Alarcón M. F., and D.L. Dufour. 2002. Almidón agro de yuca en Colombia. En: Ospina P., Bernardo; Ceballos, H., E. Alvarez, A.C. Bellotti, L.A. Calvert, B. Arias, L.F. Cadavid, B. Pineda, G.A. Llano, and M. I. Cuervo. (eds.). La yuca en el Tercer Milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Consorcio Latinoamericano para la Investigación y el Desarrollo de la Yuca; Proyecto IP-3 de Mejoramiento de Yuca, Cali, CO. p. 470-502. (Publicación CIAT no. 327).
- Ángeles, P. 2015. Diseño de un proceso industrial para obtener plástico biodegradable a partir de almidón de yuca *Manihot esculenta*. Tesis Doctor en Ciencias, Escuela de Posgrados, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28512.51200>
- Aristizábal, J., T. Sánchez, y D.M. Lorío. 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de Yuca. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma, Italia. <https://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>

- Bello-Pérez, L., S. Sáyago-Ayerdi, J. Villagómez-Méndez y L. Montiel-Salas. 2000. Almidón de plátano y calidad sensorial de dos tipos de galletas. *Agrociencia* 34(5):553-560.
- Contreras-Pérez, R. K., L. De la Torre-Gutiérrez, N. González-Cortés, y R. Jiménez-Vera. 2018. Caracterización funcional de almidones de plátano cuadrado (*Musa balbisiana* Colla). *European Scientific Journal* 14(30):82-97.
- Dufour, D., O. Gibert, A. Giraldo, T. Sanchez, M. Reynes, J.P. Pain, and A. Diaz. 2009. Differentiation between Cooking Bananas and Dessert Bananas. 2. Thermal and functional characterization of cultivated Colombian Musaceae (*Musa* sp.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57(17):7870-7876.
- Etienne, A., M. Génard, P. Lobit, D. Mbéguié-A-Mbéguié, and C. Bugaud. 2013. What controls fleshy fruit acidity? A review of malate and citrate accumulation in fruit cells. *Journal of Experimental Botany* 64(6):1451-1469.
- Franco, T. y R. Hidalgo. 2003. Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Boletín técnico No. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/An%C3%A1lisis_estad%C3%ADstico_de_datos_de_caracterizaci%C3%B3n_morfol%C3%B3gica_de_recursos_fitogen%C3%A9ticos_894.pdf
- García-Tejeda, Y.V., P.B. Zamudio-Flores, L.A. Bello-Pérez, C.A. Romero-Bastida y J. Solorza-Feria. 2011. Oxidación del almidón nativo de plátano para su uso potencial en la fabricación de materiales de empaque biodegradables: caracterización física, química, térmica y morfológica. *Revista Iberoamericana de Polímeros* 12(3):125-135.
- Gibert, O., D. Dufour, A. Giraldo, T. Sánchez, M. Reynes, J.P. Pain, A. González, A. Fernández, 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. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57(17):7857-7869.
- Hernández-Medina, M., J.G. Torruco-Uco, L. Chel-Guerrero y D. Betancur-Ancona. 2008. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology* 28(3):718-726.
- Hoyos-Leyva, J.D., P.A. Jaramillo-Jiménez, A. Giraldo-Toro, D. Dufour, T. Sánchez y J.C. Lucas-Aguirre. 2012. Caracterización física, morfológica y evaluación de las curvas de empastamiento de musáceas (*Musa* spp.). *Acta Agronómica* 61(3):214-229.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC. 1976. NTC 1190, plátanos. Clasificación. <https://vdocuments.mx/ntc-1190-platanos-clasificacion.html>
- Kader, A. 2022. Recomendaciones para Mantener la Calidad postcosecha de banano. Postharvest Center, University of California. Disponible en https://postharvest.ucdavis.edu/Commodity_Resources/Fact_Sheets/Datstores/Fruit_Spanish/?uid=5&ds=802. (Consulta 25 julio 2022).
- Lawal, O.S., R. Lapasin, B. Bellich, T.O. Olaywola, A. Cesàro, and M. Yoshimura M. 2011. Rheology and functional properties of starches isolated from five improved rice varieties from West Africa. *Food Hydrocolloids* 25(7):1785-1792.
- Lucas, J.C. y V.D. Quintero. 2016. Caracterización reológica de almidón y evaluación morfológica de 20 variedades de musáceas (*Musa* sp.). *Acta Agronómica* 65(3):218-225. doi:10.15446/acag.v65n3.48029
- Martínez-Cardozo, C., G. Cayón-Salinas y G. Ligarreto. 2016. Composición química y distribución de materia seca del fruto en genotipos de plátano y banano. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 17(2):217-227.
- Mitchell, G.A. 1990. Methods of starch analysis. *Starch*. 42(4):131-134. doi:10.1002/star.19900420403.
- Montoya-López, J., V. Quintero-Castaño y J.C. Lucas-Aguirre. 2014. Caracterización de harina y almidón de frutos de banano Gros Michel (*Musa acuminata* AAA). *Acta Agronómica* 64(1):11-21. doi:10.15446/acag.v64n1.38814
- Moreno, J.L. 2019. Evaluación del comportamiento poscosecha de variedades de musáceas cultivadas en Colombia. Tesis Máster en Ciencias, Facultad de Ingeniería y Administración, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia. <http://bdigital.unal.edu.co/70756/>
- Paternina, A., J. Figueroa, J. Salcedo y M. Cervera. 2016. Propiedades de empastamiento en almidones nativos de yuca, ñame y batata. *Agronomía Colombiana* 34(1Supl):S402-S404.
- Quiceno, M., G. Giraldo y R. Villamizar. 2014. Caracterización fisicoquímica del plátano (*Musa paradisiaca* sp. AAB, Simmonds) para la industrialización. *UGCiencia* 20(1):48-54.

- Sanju, B.D., M. Tanu, K. Ramandeep, K. Pradyuman, K. Naveet, and S. Ajay. 2021. Banana Starch: Properties Illustration and Food Applications – A review. *Stärke* 73: e2000085. doi:10.1002/star.202000085
- SAS Institute. 2018. SAS User's Guide: Statistics, version 9.4. SAS Institute, Cary, North Caroline, USA.
- Simmonds, N. 1962. The evolution of the bananas. L. G. London (ed.). p. 170 p.
- Syukriani, L., R. Yunita, and J. Jamsar. 2021. Physicochemical characterization of starch from seven genotypes banana in West Sumatera. En IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 741, 2nd International Conference of Bio-Based Economy for Application and Utilization 16th December 2020, Padang West Sumatera, Indonesia. doi:10.1088/1755-1315/741/1/012007
- Vega-Rojas, L.J., S.M. Londoño-Restrepo, and M.E. Rodríguez-García. 2021. Study of morphological, structural, thermal, and pasting properties of flour and isolated starch from unripe plantain (*Musa paradisiaca*). *International Journal of Biological Macromolecules* 183: 1723-1731. doi:10.1016/j.ijbiomac.2021.05.144
- Vergara, A.F. 2008. Efectos genéticos, ambientales y de interacción sobre componentes químicos relacionados con el valor sensorial de las judías grano. Tesis Doctoral en Biotecnología Agroalimentaria y Sostenibilidad. Departamento de Ingeniería Agroalimentaria y Biotecnología, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona, España. <http://hdl.handle.net/10803/7055>
- Waliszewsk, K., M. Aparicio, B. Luís, and J. Monroy. 2003. Changes of banana starch by chemical and physical modification. *Carbohydrate Polymers* 52(3):237-242.
- Yllano, O., G. Diaz, A. Lalusin, A. Laurena, and E.M.T. Mendoza, 2020. Genetic analyses of abaca (*Musa textilis* Née) germplasm from its primary center of origin, the Philippines, using Simple Sequence Repeat (SSR) Markers. *The Philippine Agricultural Scientist* 103(4): 311-321.