

## Propiedades fisicoquímicas y digestibilidad *In vitro* de harinas de bananos de cocción durante la maduración y el procesamiento

Jhon Larry Moreno<sup>1\*</sup>; Thierry Tran<sup>2</sup>; Dominique Dofour<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The Alliance of Bioversity International and the International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Cali, Colombia; <sup>2</sup>UMR Qualisud, CIRAD, Montpellier, France. QualiSud, Univ Montpellier, Avignon Université, CIRAD, Institut Agro, IRD, Université de La Réunion, Montpellier, France. UMR QualiSud, CIRAD, Cali, Colombia. The Alliance of Bioversity–International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Cali, Colombia.

\*Autor de

**Correspondencia:**

Jhon Larry Moreno  
j.l.moreno@cgiar.org

**Contribución:**

Científica

**Sección:**

Tecnología de Postcosecha

**Recibido:**

15 Diciembre, 2023

**Aceptado:**

15 Enero, 2024

**Publicado:**

16 Abril, 2024

**Cita:**

Moreno JL, Tran T y Dofour. 2024. Propiedades fisicoquímicas y digestibilidad *In vitro* de harinas de bananos de cocción durante la maduración y el procesamiento.

*Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 74  
<https://doi.org/10.62498.AR.TC.2474>

### RESUMEN

Se evaluó el efecto del estado de maduración (verde y maduro) y el procesamiento (fresco y cocido) sobre las propiedades fisicoquímica y digestibilidad *in vitro*, de cuatro variedades de bananos de cocción cultivadas en Colombia. Se presentó cambios significativos ( $P < 0.0001$ ) en el contenido de almidón total, almidón resistente, almidón rápida y lentamente digestible, con la maduración y el procesamiento. La interacción (cultivar, estado de maduración y procesamiento), presentó un efecto altamente significativo ( $P < 0.0001$ ) sobre las propiedades funcionales y las propiedades de empastamiento de las harinas. Por lo tanto, el conocimiento de las características fisicoquímicas y nutricionales de los bananos de cocción permite una mejor selección en función de la aplicación industrial.

**Palabras clave:** Banano de cocción, digestibilidad *in vitro*, propiedades nutricionales, Postcosecha.

### ABSTRACT

The effect of ripening state (green and ripe) and processing (fresh and cooked) on the physicochemical properties and *in vitro* digestibility of four varieties of cooking bananas grown in Colombia was evaluated. There were significant changes ( $P < 0.0001$ ) in the content of total starch, resistant starch, rapidly and slowly digestible starch, with ripening and processing. The interaction (cultivar, ripening state, and processing) presented a highly significant effect ( $P < 0.0001$ ) on the functional properties and pasting properties of the flours. Therefore, knowledge of the physicochemical and nutritional characteristics of cooking bananas allows for better selection based on industrial application.

**Keywords:** Cooking banana, *in vitro* digestibility, nutritional properties, postharvest.



## INTRODUCCIÓN

En Colombia las variedades de bananos de cocción son cultivadas tradicionalmente como parte de la economía de subsistencia por pequeños productores, con alta dispersión geográfica y generación de empleo rural (Moreno et al., 2021). Colombia se encuentra entre los principales productores de bananos de cocción en el mundo, con una producción de más de 2.3 millones de toneladas para el año 2022 (FAO, 2023). Los bananos de cocción son frutas climatéricas, su conservación es limitada a largo plazo, lo que provoca enormes pérdidas económicas. Una alternativa de conservación es transformar estos frutos en harinas, lo cual es conveniente para el transporte y almacenamiento, además, ayuda a conservar los componentes nutricionales presentes en el fruto. La harina de banano es considerada como un ingrediente alimentario funcional debido a su alto contenido de [almidón](#) resistente, fibra dietética y [potasio](#), este tipo de harina presenta amplias perspectivas de aplicación ([Campuzano et al., 2018](#)), además, es libre de gluten, con un bajo costo de procesamiento y puede ser utilizada como un sustituto favorable de la harina de trigo, (Patiño-Rodríguez et al., 2019).

En Colombia existen numerosas variedades de bananos de cocción que no han sido exploradas por los investigadores. Los frutos frescos se descartan parcialmente debido a su uso limitado en la industria. Pocos estudios existen sobre la digestibilidad *in vitro* y caracterización de harinas extraídas de bananos de cocción cultivados en Colombia. Por lo tanto, el presente estudio se realizó con cuatro variedades de bananos de cocción, con el objetivo de evaluar sus propiedades fisicoquímicas y digestibilidad *in vitro*, durante la maduración y el procesamiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio se trabajó con 4 variedades de bananos de cocción como fueron: Dominico Hartón (AAB), Guineo (AAA), Guayabo (AAB) y Cachaco (ABB), cultivadas en Palmira, Colombia (Latitud 03° 28'22.9" norte, longitud 76° 19'20.7", altitud 994 m). Se cosecharon tres racimos por genotipo y se utilizaron los frutos de la mano 2 y 3. Los frutos se dividieron en dos etapas de maduración, según la escala de color descrita por Von Loesecke (1950). Estos índices se basan en el color de la cascara: 1=verde y 6=completamente amarilla (Maduro). Una vez cosechado el material se realizó el análisis de los frutos frescos y cocidos; los frutos se almacenaron en condiciones ambientales (25-28 °C, 56-62% de humedad relativa) para obtener el grado 6 de maduración. Para cada estado de maduración se tomaron 4 frutos y fueron

troceados en cilindros y cocinados durante 20 minutos a temperatura de ebullición. La pulpa fresca y la pulpa cocida fueron troceadas en pequeñas piezas y liofilizadas, luego se molieron con nitrógeno líquido y se almacenaron a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (harina). Las muestras fueron codificadas de la siguiente forma: en estado 1 y fresco (Verde+fresco), estado 1 y cocido (Verde+cocido), estado 6 y fresco (Maduro+fresco) y estado 6 y cocido (Maduro+cocido).

**Caracterización fisicoquímica de las harinas.** El contenido de materia seca se midió de acuerdo con el método oficial de la AOAC (2005). El contenido total de almidón se determinó según el método de Holm et al. (1986).

**Propiedades de hidratación.** La solubilidad y el poder de hinchamiento se determinaron mediante el método reportado por Aparicio-Sanguilán et al. (2005), con algunas modificaciones. Se usaron dispersiones de almidón al 1% (peso/peso) en base seca (0,28 g dispersos en 27,72 g de agua grado Milli-Q).

**Propiedades de pegado.** Los perfiles de viscosidad se obtuvieron con un analizador rápido de viscosidad modelo RVA-4 (Newport Scientific, Australia). Se dispersó harina (2,0 g en base seca) en una solución de nitrato de plata a 0,002 M (23 mL) para una suspensión del 8 % (Dufour et al., 2009).

**Propiedades de digestibilidad *in vitro*.** La digestibilidad *in vitro* de las harinas se determinó mediante el método de Englyst et al (1992). Las fracciones de almidones digeridos se expresaron en % de glucosa x 0,9. El almidón de rápida digestión (RDS) y el almidón de lenta digestión (SDS) se calcularon a partir de los valores medidos a los 20 y 120 minutos de hidrólisis, respectivamente. El almidón resistente (RS) se calculó utilizando la siguiente ecuación:  $RS = TS - RDS - SDS$ , donde TS es el contenido total de almidón.

**Análisis estadístico.** Todos los análisis se realizaron por duplicado. La comparación de medias se realizó mediante análisis de varianza (ANOVA). Los análisis estadísticos se realizaron con el software JMP (SAS Institute Inc., Versión 13 2.1).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las cuatro variedades presentaron contenidos iniciales de almidón significativamente diferentes ( $P < 0,01$ ). En general el comportamiento del contenido de almidón fue de la siguiente forma: Verde+fresco > Verde+cocido > Maduro+Fresco >

Maduro+cocido (Cuadro 1). El contenido de almidón disminuyó durante la maduración, presentándose diferentes tasas de hidrólisis, este comportamiento también lo encontraron Moreno et al., (2021). Se presentó una disminución del contenido de almidón con la cocción, esto se debe a una parcial gelatinización de este polisacárido y/o la pérdida en el agua de cocción durante la ebullición. El cultivar (C), el estado de madurez (E), el procesamiento (P) y su interacción (CxExP) presentaron un efecto estadísticamente significativo (<0.0001) sobre el contenido de almidón (Cuadro 1), lo cual indica que los cultivares presentaron diferentes contenidos de almidón en estado verde, el grado de hidrólisis del almidón durante la maduración fue significativo; y la disminución del contenido de almidón difirió durante la maduración y la cocción.

**Cuadro 1.** Contenido de almidón total, fracciones de almidones, solubilidad y poder de hinchamiento de la harina de banana de cocción durante la maduración y el procesamiento.

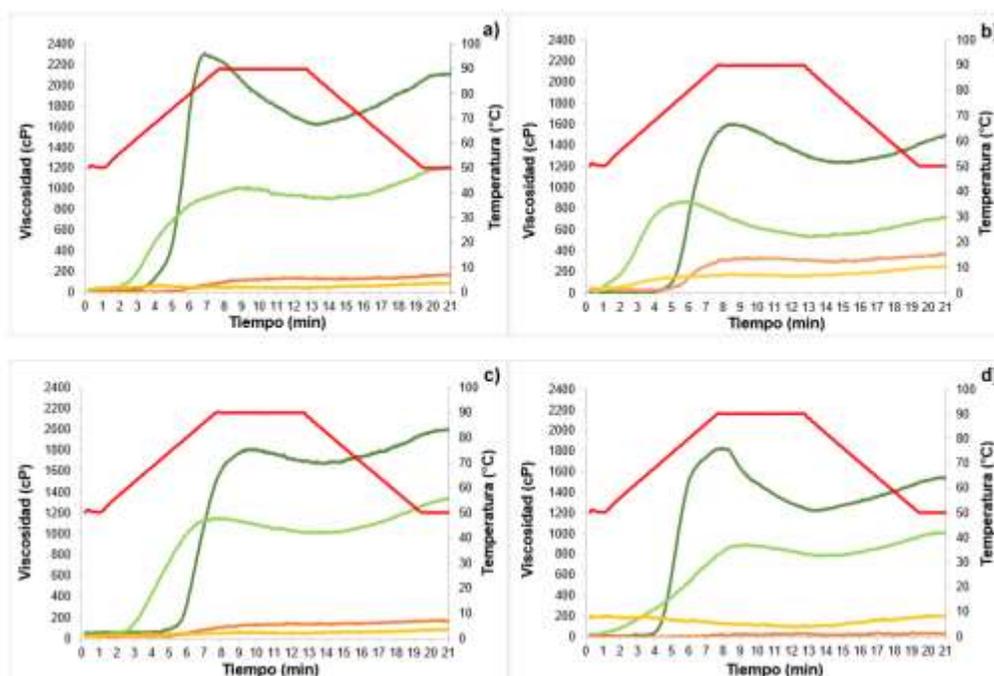
Nombre local de cultivar	Estado de madurez	Procesamiento	Almidón total (% db)	Fracciones de almidón (% db)			Solubilidad (% db)	Poder de hinchamiento (g/g)
				ARD <sup>1</sup>	ALD <sup>2</sup>	AR <sup>3</sup>		
Dominico Hartón	Verde	Fresco	88.8	5.1	12.6	71.1	15.0	11.7
	Verde	Cocido	70.0	41.4	26.5	2.1	17.4	12.3
	Maduro	Fresco	43.4	4.3	9.9	29.2	55.7	15.2
	Maduro	Cocido	33.9	31.7	1.7	0.5	28.7	8.4
Cachaco	Verde	Fresco	69.9	5.8	11.8	52.3	11.5	8.9
	Verde	Cocido	61.0	48.0	10.5	2.4	26.1	16.9
	Maduro	Fresco	58.5	11.8	13.3	33.5	33.8	10.7
	Maduro	Cocido	41.0	39.8	0.8	0.4	44.5	14.0
Guayabo	Verde	Fresco	79.0	2.8	12.9	63.3	13.3	10.6
	Verde	Cocido	77.4	22.9	40.4	14.1	18.2	12.7
	Maduro	Fresco	55.0	0.9	16.4	37.6	43.2	10.6
	Maduro	Cocido	34.3	29.9	4.2	0.3	33.3	10.8
Guineo	Verde	Fresco	67.5	1.6	13.5	52.4	12.8	9.4
	Verde	Cocido	64.6	19.7	26.1	18.9	17.4	12.3
	Maduro	Fresco	23.2	4.4	13.2	5.6	76.5	15.6
	Maduro	Cocido	16.8	15.6	0.7	0.4	65.8	14.5
<b>Fuente de variación (Probabilidad &gt;F) de ANOVA</b>								
Nombre local del cultivar (C)			<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Estado de madurez (E)			<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0055
Procesamiento (P)			<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0097	<0.0001
Interacción (CxExP)			0.0011	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0013

<sup>1</sup> = Almidón rápidamente digestible, <sup>2</sup> = Almidón lentamente digestible, <sup>3</sup> = Almidón resistente.

Los bananos de cocción presentaron en estado verde altos contenidos de almidón, principalmente en forma de almidón resistente tipo 2 (RS2), que corresponde al almidón nativo crudo que es poco susceptible a la hidrólisis (González-Soto et al., 2007), con la etapa de maduración y la cocción se observó una disminución en el contenido de almidón resistente (AR). Dominico Harton (Verde+fresco) mostró mayor resistencia a la digestión en comparación con las otras muestras evaluadas. En general, la digestibilidad de las harinas (Maduro+cocido), aumentó significativamente ( $p < 0.0001$ ). Por otro lado, las harinas Verde+cocido y Maduro+cocido presentaron mayores contenidos de almidón rápidamente digestible (ARD), esto indica que durante el proceso de cocción el almidón resistente se degrada parcial o totalmente. De hecho, estudios previos han demostrado que los tratamientos térmicos, reducen el AR y aumentan la concentración de almidón lentamente digestible (ALD) y ARD (Cahyana et al., 2019). El cultivar (C), el estado de madurez (E), el procesamiento (P) y su interacción (CxExP) presentaron un efecto altamente significativo ( $p < 0.0001$ ) sobre el contenido de AR, ALD, ARD (Cuadro 1). La resistencia digestiva de la harina de bananos de cocción en estado verde se ha convertido en una de las propiedades importantes de interés para los investigadores. Con la creciente prevalencia de obesidad y diabetes, es necesario incentivar el consumo de harinas obtenidas de bananos de cocción, debido a su alto contenido de AR y ALD, proporcionando beneficios para la salud, controlando el nivel glucémico.

La solubilidad en agua se refiere a la cantidad de moléculas solubles lixiviadas de los gránulos de almidón presentes en las harinas. En general, las harinas obtenidas de Maduro+fresco y Maduro+cocido, presentaron mayores valores de solubilidad. Los menores valores de solubilidad fueron para las harinas Verde+Fresco, este comportamiento podría deberse a la estructura semicristalina de los gránulos de almidón, al mayor contenido de amilosa y los enlaces de hidrógeno formados entre los grupos hidroxilo dentro de las moléculas de almidón, lo que lo hace más difícil que la amilosa escape de los gránulos (Kumar et al., 2019). Las harinas Verde+Fresco, presentaron los menores valores de poder de hinchamiento. Los enlaces de hidrógeno intermoleculares en las zonas amorfas de los gránulos de almidón se pueden romper con el aumento de la temperatura, esto promueve el rápido hinchamiento del almidón (Kumar et al., 2019). La interacción (CxEXP), presentó un efecto altamente significativo sobre la solubilidad y poder hinchamiento. Estas propiedades no solo están relacionadas con la estructura de los gránulos del almidón y el contenido de amilosa, sino que también se vio afectada por otros componentes no amiláceos y su interacción.

Las propiedades de pegado de las harinas fueron significativamente ( $P < 0.001$ ) influenciados por el cultivar, el grado de maduración y el procesamiento, así mismo la interacción entre los factores. Se observaron cambios en los perfiles de viscosidad de la harina a lo largo del proceso de maduración y la cocción (figura 1). El pico de viscosidad más alto se observó para la harina de Dominico Hartón (Verde+ fresco) y el más bajo para la harina de Cachaco (Maduro+fresco), la tendencia del pico de viscosidad es coherente con el contenido de almidón de las harinas (Cuadro 1). Las harinas (Maduro+fresco) no desarrollaron picos de viscosidad a excepción de Cachaco (Maduro+fresco) desarrolló un leve pico. Además, la concentración evaluada (8%) en el RVA, los pocos gránulos de almidón están muy dispersos en la suspensión, impidiendo el desarrollo de un pico de viscosidad, sumado a esto el aumento de la concentración de azúcares, debido a la hidrólisis enzimática del almidón, resulta en una alta solubilidad por lo cual los azúcares se enlazan a las moléculas de agua y no permiten que se enlacen con el almidón, inhibiendo la hinchazón normal del almidón (Glicksman, 1969). Por otro lado, las harinas (Maduro+cocido) no desarrollaron pico de viscosidad para ninguna de las variedades evaluadas y este comportamiento es similar para los otros parámetros evaluados.



**Figura 1.** Viscoamilograma de harinas de bananos de cocción en diferentes estados de maduración (verde y maduro) y procesamiento (fresco y cocido), utilizando un RVA, a) Dominico Hartón, b) Cachaco, c) Guayabo, d), Guineo. — (Verde + fresco), — (Verde + cocido), — (Maduro + Fresco), — (Maduro + cocido).

Sin embargo, cabe señalar que la temperatura de empastamiento se vuelve más difícil de estimar en muestras cocidas, ya que la viscosidad aumentó ligeramente desde el comienzo de la etapa de mantenimiento. Este fenómeno se observó en las variedades Cachaco y Guineo (Verde+cocida). Para todos los cultivares, se presentó un aumento de la temperatura de empastamiento con la maduración, esto puede ser atribuido a la concentración de azúcares y a la presencia de otras sustancias de bajo peso molecular que compiten con el almidón por el agua (Ayo-Omogie et al., 2021). Se observaron diferencias significativas en las viscosidades finales de las harinas. La viscosidad final más alta fue para Dominico Hartón (Verde+fresco), mientras que Guayabo (Maduro+cocido).

## CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación proporcionan información novedosa sobre las propiedades y cambios que ocurren durante la maduración y el procesamiento de variedades de bananos de cocción pocos exploradas en Colombia. Las harinas obtenidas de estas muestras no tienen gluten, además, la adición de estas harinas en los alimentos funcionales es beneficiosa para mejorar las propiedades nutricionales y funcionales de los productos. Por lo tanto, promover la aplicación de estas harinas en diversas áreas industriales y satisfacer la demanda de productos alimentarios de etiquetas limpias.

## REFERENCIAS

1. AOAC. Métodos oficiales de análisis de la AOAC Internacional. 2005, 18ª ed., AOAC Internacional, Gaithersberg, 2005.
2. Aparicio-Saguilán, A, Flores-Huicochea, E, Tovar, J, García-Suárez, F, Gutiérrez-Meraz, F, Bello-Pérez, LA. 2005. Resistant starch-rich powders prepared by autoclaving of native and lintnerized banana starch: partial characterization. *Starch/Stärke* 57:405–412.
3. Ayo-Omogie, HN, Jolayemi, OS, Chinma, CE. 2021. Fermentation and blanching as adaptable strategies to improve nutritional and functional properties of unripe Cardaba banana flour. *J. Agric. & Food Res.* 6, 100214.
4. Cahyana, Y, Wijaya, E, Halimah, TS, Marta, H, Suryadi, E, Kurniati, D. 2019. The effect of different thermal modifications on slowly digestible starch and physicochemical properties of green banana flour (*Musa acuminata* colla). *Food Chemistry* 274: 274-280.
5. Campuzano, A, Rosell, CM, Cornejo, F. 2018. Physicochemical and nutritional characteristics of banana flour during ripening. *Food Chemistry* 256: 11-17.

6. Dufour, D, Gibert, O, Giraldo, A, Sánchez, T, Reynes, M, Pain, J-P, González, A, Fernández, A, Díaz, A. 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: 7870–7876.
7. Englyst, HN, Kingman, SM, Cummings, JH. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. [European Journal of Clinical Nutrition](#) 46: 33–50.
8. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2023. *FAOSTAT agricultural production*. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Consulta el 05 de noviembre del 2023.
9. Glicksman, M. 1969. *Gum Technology in the Food Industry*. Pp. 554. New York: Academic Press.
10. Gonzalez-Soto, RA, Mora-Escobedo, R, Hernandez-Sanchez, H, Sanchez Rivera, M, Bello Perez, LA. 2007. The influence of time and storage temperature on resistant starch formation from autoclaved debranched banana starch. *Food Research International* 40:304–310.
11. Holm, J, Björck, I, Drews, A, Asp, NG. 1986. A rapid method for the analysis of starch. *Starch-Stärke* 38: 224–226.
12. Kumar, PS, Saravanan, A, Sheeba, N, Uma, S. 2019. Structural, functional characterization and physicochemical properties of green banana flour from dessert and plantain bananas (*Musa spp.*). *LWT – Food Science and Technology* 116 (2019).
13. Moreno, JL, Tran, T, Cantero-Tubilla, B, López-López, K, Becerra, LA, Dufour, D. 2021. Physicochemical and physiological changes during the ripening of Banana (*Musaceae*) fruit grown in Colombia. *Int. J. Food Sci. Technol.* 56: 1171-1183.
14. Patiño-Rodríguez, O, Agama-Acevedo, E, Pacheco-Vargas, G, Alvarez-Ramírez, J, Bello-Pérez, LA. 2019. Physicochemical, microstructural and digestibility analysis of gluten-free spaghetti of whole unripe plantain flour. *Food Chemistry* 298: 125085.
15. Von Loesecke, H. W. 1950. *Bananas: Chemistry, physiology, technology* (No. LOE 634.77 (BR 571)). Interscience Publishers, Inc.