



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Evaluación del comportamiento poscosecha de variedades de musáceas cultivadas en Colombia

Jhon Larry Moreno Alzate

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería y administración
Palmira, Colombia

2018

Evaluación del comportamiento poscosecha de variedades de musáceas cultivadas en Colombia

Jhon Larry Moreno Alzate

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería Agroindustrial

Directores:

Bioquímica, PhD. Karina López

Ingeniero, Bio-Industrial, PhD. Dominique Dufour

Ingeniero en Alimentos, PhD. Thierry Tran

Línea de Investigación:

Agroindustria de productos alimentarios

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería y Administración
Palmira, Colombia

2018

A Dios

A mi madre Dulfay Alzate Naranjo

A mis hermanas y sobrinos

Son el motivo de vida

Lo que sabemos es una gota de agua, lo que ignoramos es el océano.

Isaac Newton

Agradecimientos

A Dios por todas las bendiciones recibidas cada día de mi vida.

Gracias al Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y al centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo (CIRAD), instituciones que han contribuido en mi desarrollo como investigador, además de proporcionar los recursos para esta investigación.

Al Doctor Dominique Dufour, líder de programa de Raíces, Tubérculos y Bananos en CIRAD, al Doctor Thierry Tran, líder de poscosecha de yuca en CIAT y a la Doctora Karina López, profesora asociada de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Gracias por la dirección y apoyo durante el desarrollo de esta investigación.

Un agradecimiento especial a Katherine Castillo y Ana María Leiva del Laboratorio de Genética de Yuca en CIAT y Andrés Escobar del Laboratorio de Calidad Poscosecha de Yuca en CIAT, por el acompañamiento y asesoría durante el desarrollo de diferentes metodologías.

Al equipo de calidad poscosecha, quienes de una u otra forma contribuyeron al desarrollo de esta investigación. A todas aquellas personas que estuvieron presentes y fueron incondicionales durante este proceso.

Resumen

Los bananos y plátanos son cultivados extensamente en regiones tropicales y subtropicales y son un importante cultivo que contribuye a la seguridad alimentaria. En Colombia, el cultivo de plátano tiene un impacto socioeconómico muy marcado, generando empleo y divisas para el país. El objetivo de estudio fue evaluar el comportamiento poscosecha de tres variedades de musáceas (Dominico Hartón, Guineo y Gros Michel). Se realizó la caracterización fisicoquímica y fisiológica de los frutos, se extrajeron las harinas y almidones para su caracterización funcional, fisicoquímica, térmica y nutricional. Los resultados del análisis discriminante mostraron que el tiempo en alcanzar la plena maduración de los frutos, el porcentaje de cascara y el parámetro de color a^* , son las características que más contribuyen para la discriminación entre variedades. La producción de CO_2 y etileno presentaron un patrón monofásico. Se creó un modelo para la predicción de SST a partir de parámetros de color, medidos en la cáscara, presentando el mejor ajuste para la variedad Dominico Hartón. Málico, cítrico y succínico son los ácidos predominantes en las harinas extraídas durante la maduración. Los patrones de degradación del almidón fueron significativamente diferentes ($P < 0.05$), con una hidrólisis parcial y total del almidón para Dominico Hartón y Gros Michel, respectivamente. La temperatura de empastamiento fue variada siguiendo esta tendencia Dominico Hartón > Gros Michel > Guineo, la viscosidad de las harinas es proporcional con la disminución del contenido de almidón. El contenido de amilosa evaluado en los almidones, no varió con la maduración, por el contrario, la entalpía de gelatinización tiende a disminuir significativamente. El análisis de digestibilidad In vitro mostró que los almidones evaluados son una excelente fuente de almidón resistente con índices glucémicos bajos (<50). Se encontraron actividades de α y β -amilasa en la pulpa y asociadas con el gránulo de almidón. Las harinas y almidones evaluados pueden utilizarse como alimentos funcionales o en otros fines industriales.

Palabras clave: Maduración, musáceas, amilosa, almidón resistente.

Abstract

Bananas and plantains are widely cultivated in tropical and subtropical regions and are an important food crop, contributing to food security. In Colombia, plantain cultivation has a very strong socioeconomic impact, generating employment and foreign exchange for the country. The objective of the study was to evaluate the postharvest behavior of three Musaceae varieties (Dominico Hartón, Guineo and Gros Michel). The physicochemical and physiological characterization of the fruits was carried out, the flours and starches were extracted for their functional, physicochemical, thermal and nutritional characterization. The results of the discriminant analysis showed that the time to reach the full maturity of the fruits, the percentage of skin and the color parameter a^* , are the characteristics that contribute most to the discrimination between varieties. The production of CO₂ and ethylene showed a monophasic pattern. A model for the prediction of SST was created from color parameters, measured in the shell, presenting the best fit for the Dominican variety Hartón. Malic, citric and succinic are the predominant acids in the flours extracted during ripening. The starch degradation patterns were significantly different ($P < 0.05$), with a partial and total hydrolysis of the starch for Dominico Hartón and Gros Michel, respectively. The paste temperature was varied following this trend. Dominico Hartón > Gros Michel > Guineo, the viscosity of the flours is proportional with the decrease of the starch content. The amylose content evaluated in the starches did not vary with maturation, on the contrary, the enthalpy of gelatinization tends to decrease significantly. In vitro digestibility analysis showed that the evaluated starches are an excellent source of resistant starch with low glycemic indexes (<50). Activities of α and β -amylase were found in the pulp and associated with the starch granule. The flours and starches evaluated can be used as functional foods or for other industrial purposes.

Keywords: Maturation, musaceae, amylose, resistant starch.

Contenido

	Pág.
Resumen.....	XI
Lista de figuras.....	XVI
Lista de tablas	XVIII
Lista de Símbolos y abreviaturas.....	XX
Introducción	1
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos	3
1 Capítulo: Marco referencial	5
1.1 Producción de musáceas	5
1.2 Fisiología de la maduración.....	6
1.3 Estructura del almidón.....	6
1.4 Análisis ultra estructural del almidón	9
1.5 Comportamiento del granulo de almidón en medios acuosos.....	10
1.6 Digestibilidad del almidón.....	11
1.7 Degradación del almidón.....	11
1.8 Amilasas	13
1.9 Bibliografía	14
2 Capítulo: Caracterización fisicoquímica y fisiológica de frutos de musáceas ..	21
2.1 Introducción.....	22
2.2 Materiales y métodos	22
2.2.1 Localización	22
2.2.2 Material biológico	23
2.2.3 Cinéticas de maduración.....	23
2.2.4 Caracterización física de los frutos.....	24
2.2.5 Color de la cáscara	25
2.2.6 Grosor y porcentaje de cáscara	25
2.2.7 Contenido de materia seca (MS).....	25
2.2.8 Contenido de solidos solubles totales (SST)	26
2.2.9 Contenido de clorofila y carotenos totales	26

2.2.10	Producción de etileno y tasa de respiración	26
2.2.11	Análisis estadístico	26
2.3	Resultados y discusión	27
2.3.1	Registros preliminares	27
2.3.2	Caracterización física de los frutos	29
2.3.3	Relación pulpa: cáscara, porcentaje y grosor de cáscara	31
2.3.4	Color de la cáscara	33
2.3.5	Contenido de materia seca (MS) en la pulpa	36
2.3.6	Sólidos solubles totales (SST) en la pulpa	37
2.3.7	Contenido de clorofila y carotenos totales en la cáscara	38
2.3.8	Producción de etileno y tasa de respiración	40
2.3.9	Análisis estadístico	43
2.3.9.1	MANOVA	43
2.3.9.2	Análisis discriminante	43
2.3.9.3	Análisis de componentes principales	44
2.4	Bibliografía	50
3	Capítulo: Caracterización fisicoquímica de harinas y almidones de musáceas	55
3.1	Introducción	56
3.2	Materiales y métodos	57
3.2.1	Localización	57
3.2.2	Material biológico	57
3.2.3	Extracción de harinas y almidones	57
3.2.4	Contenido de humedad	57
3.2.5	Contenido total de cenizas	58
3.2.6	Contenido de fibra cruda	58
3.2.7	Contenido total de proteína	58
3.2.8	Contenido de potasio y fósforo	58
3.2.9	Propiedades funcionales de las harinas	58
3.2.10	Cuantificación de ácidos orgánicos y azúcares	59
3.2.11	Cuantificación del potencial de hidrógenos (pH)	60
3.2.12	Contenido de almidón total	60
3.2.13	Propiedades fisicoquímicas de los almidones	61
3.2.14	Contenido de amilosa y propiedades térmicas	61
3.2.15	Digestibilidad In vitro	62
3.2.16	Actividad enzimática	63
3.2.17	Electroforesis	64
3.2.18	Análisis estadístico	64
3.3	Resultados y discusión	65
3.3.1	Composición de la harina de musáceas	65
3.3.2	Propiedades funcionales de las harinas	67
3.3.3	Comportamiento de los ácidos orgánicos durante la maduración de musáceas	72
3.3.4	Comportamiento del pH durante la maduración de musáceas	76
3.3.5	Comportamiento del contenido de almidón y azúcares durante la maduración de musáceas	77
3.3.6	Composición química de los almidones aislados de diferentes variedades de musáceas durante la maduración	81
3.3.7	Solubilidad, índice de absorción de agua y claridad de los almidones aislados durante la maduración	83

3.3.8	Contenido de amilosa y propiedades térmicas de los almidones aislados durante la maduración.....	86
3.3.9	Digestibilidad In vitro de los almidones aislados durante la maduración....	89
3.3.10	Actividad enzimática y electroforesis.....	93
3.3.11	Análisis estadístico.....	97
3.4	Bibliografía	101
4	Conclusiones y recomendaciones.....	111
4.1	Conclusiones.....	111
4.2	Recomendaciones.....	112

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Arquitectura de gránulos de almidón y diferentes niveles de organización estructural.	8
Figura 1-2: Imágenes de gránulos de almidón extraído de banano (<i>Musa Acuminata</i> AAA cv. Nanicão) (Peroni-Okita et al., 2010).	9
Figura 1-3: Diferentes estados del gránulo de almidón en presencia de agua y en función de la temperatura (Duprat et al., 1980).	10
Figura 2-1: Parámetros de caracterización física de los frutos.	24
Figura 2-2: Comportamiento de los SST durante el almacenamiento poscosecha.	29
Figura 2-3: Evaluación del Croma (C) y del ángulo (h), para los diferentes tiempos de almacenamiento (número dentro de los símbolos) de las variedades estudiadas (círculos, muestras de Dominico Hartón, cuadrados, muestras de Guineo y triángulos, muestras de Gros Michel).	33
Figura 2-4: Comportamiento de los parámetros de color L^* , b^* y a^* en la cáscara, en función al tiempo de almacenamiento para las tres variedades de musáceas evaluadas.	35
Figura 2-5: Evolución del contenido de materia seca de la pulpa, durante el almacenamiento poscosecha en las variedades Dominico Hartón, Guineo y Gros Michel.	36
Figura 2-6: Comportamiento de los sólidos solubles totales (SST) de la pulpa, durante el almacenamiento poscosecha en las variedades de Dominico Hartón, Guineo y Gros Michel. Barras de error indican la desviación estándar.	37
Figura 2-7: Contenido de Clorofila y carotenos totales en la cáscara, durante el almacenamiento poscosecha en las variedades de Guineo, Gros Michel (GM) y Dominico Hartón (DH). Barras de error indican la desviación estándar.	39
Figura 2-8: Relación de clorofila a, clorofila b y carotenoides totales, durante el almacenamiento poscosecha de las variedades evaluadas. Barras de error indica la desviación estándar.	40
Figura 2-9: Comportamiento de la producción de etileno (a) y CO_2 (b), para Dominico Hartón, Guineo y Gros Michel, durante el almacenamiento poscosecha.	41
Figura 2-10: Análisis de componentes principales de las variables fisicoquímicas y fisiológicas de tres variedades de musáceas (Dominico Hartón, Gros Michel y Guineo), durante el almacenamiento poscosecha. Diagrama de Dispersión (a) y gráfico de cargas factoriales (b). TA: tiempo de	

almacenamiento (días), CT: carotenos totales, MS: materia seca, Ø: diámetro, L*, a* y b*: parámetros de color.....	45
Figura 2-11: Relación entre los valores predichos y medidos de los SST, a). Dominico Hartón, b). Guineo y c) Gros Michel.....	48
Figura 3-1: RVA viscoamilograma de harina de musáceas.....	59
Figura 3-2: Perfiles de RVA de las harinas de Musáceas (8%, base seca).....	68
Figura 3-3: Perfiles de RVA de almidones de Dominico Hartón (7%, base seca).....	69
Figura 3-4: Comportamiento de los ácidos orgánicos durante la maduración de diferentes variedades de musáceas.....	75
Figura 3-5: Comportamiento del pH durante la maduración.....	77
Figura 3-6: Comportamiento del contenido de almidón y acumulación de azúcares solubles durante la maduración.....	78
Figura 3-7: Solubilidad e índice de absorción de agua (IAA) de los almidones aislados de diferentes variedades evaluadas durante la maduración, a) y b) Guineo; c) y d) Gros Michel; e) y f) Dominico Hartón.....	85
Figura 3-8: Digestibilidad in vitro de almidones aislados en diferentes tiempos de almacenamientos: a) Dominico Hartón; b) Dominico Hartón comparado con el control; c) Guineo; d) Guineo comparado con el control; e) Gros Michel y f) Gros Michel comparado con el control (pan blanco).....	91
Figura 3-9: Actividad de α -amilasa y β -amilasa en la pulpa de diferentes variedades durante la maduración. Las columnas representan el promedio (n=2), y las barras representan la desviación estándar.....	94
Figura 3-10: Electroforesis (SDS-PAGE) de las proteínas totales, extraídas de almidones. Los carriles designados con números corresponden a almidones aislados en diferentes tiempos de almacenamiento, para las variedades evaluadas; 25 μ g de proteína se aplicaron en cada carril. Los marcadores de masa molecular están en el carril M, α_1 y α_2 son alfas amilasas de diferentes marcas. Los geles fueron teñidos con azul de coomassie.....	96
Figura 3-11: Análisis de componentes principales de las variables fisicoquímicas evaluadas en las harinas y almidones de los cultivares estudiados. Diagrama de Dispersión (a y b) y gráfico de cargas factoriales (c y d).....	100

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1: Modo de consumo, genoma y subgrupo de variedades evaluadas.....	23
Tabla 2-2: Variedad y tiempo de almacenamiento (TA) poscosecha.	24
Tabla 2-3: Análisis univariado de los parámetros de color y sólidos soluble totales (SST).....	28
Tabla 2-4: Análisis de correlación de Pearson entre las variables medidas en la cáscara (L^* , a^* y b^*) y el contenido de sólidos totales ($^{\circ}$ Brix) en pulpa.	28
Tabla 2-5: Características físicas de frutos de Guineo, Gros Michel y Dominico Hartón, en diferentes tiempos de almacenamiento (TA).....	32
Tabla 2-6: Análisis multivariante (MANOVA) para tres grupos diferentes (Dominico Hartón, Gros Michel y Guineo).	43
Tabla 2-7: Coeficientes de las funciones discriminantes (FD) para los tres grupos evaluados (Dominico Hartón, Gros Michel y Guineo).	43
Tabla 2-8: Matriz de clasificación del análisis discriminante para las tres variedades de musáceas.	44
Tabla 2-9: Análisis de correlación de Pearson significativas, entre las variables evaluadas durante el almacenamiento poscosecha.....	46
Tabla 2-10: Parámetros estadísticos de los modelos propuestos para la predicción de SST.....	49
Tabla 3-1: Composición química de las harinas de las diferentes variedades evaluadas.....	66
Tabla 3-2: Propiedades funcionales de las harinas de las musáceas evaluadas (TA).....	70
Tabla 3-3: Probabilidad de correlación entre los ácidos orgánicos presentes en las variedades de musáceas evaluadas.	74
Tabla 3-4: Azúcares solubles presentes en las variedades de musáceas evaluadas.....	79
Tabla 3-5: Correlación de Pearson entre el contenido de almidón y los azúcares solubles durante la maduración de las variedades de musáceas evaluadas.	80
Tabla 3-6: Modelo de ajuste entre el contenido de azúcar total y la concentración de almidón en las diferentes variedades evaluadas.	81
Tabla 3-7: Composición química de los almidones aislados de diferentes variedades evaluadas durante la maduración	83
Tabla 3-8: Transmitancia de los almidones de musáceas aislados durante la maduración.	86

Tabla 3-9: Contenido de amilosa de los almidones de musáceas aislados durante la maduración.	87
Tabla 3-10: Temperatura de inicio de gelatinización y cambio de entalpía de gelatinización.....	88
Tabla 3-11: Contenido de almidón rápidamente digerible (ARD), almidón lentamente digerible (ALD) y almidón resistente (AR) de los almidones nativos.	90
Tabla 3-12: Propiedades de la digestión in vitro de los almidones.	92
Tabla 3-13: Análisis de correlación de Pearson entre las variables evaluadas en harinas y almidones.	98

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviatura	Término
cm	Centímetro
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
Dp	Grado de polimerización
nm	Nanómetros
μm	Micrometros
MabHLH6	Activador transcripcional
ADNc	AND complementario
pb	Pares de bases
kDa	kilodalton
$^{\circ}\text{C}$	Grados Celsius
%	Porcentaje
α	Alfa
β	Beta
$(\alpha/\beta)_8$	Barril Tim (dominio estructural de proteínas)
g	gramos
(v/v)	Relación volumen a volumen
$^{\circ}\text{Brix}$	Grados Brix
μL	Microlitros
C_2H_4	Etileno
CO_2	Dióxido de carbono
kg	Kilogramo
h	Hora
min	Minutos
p/p	Relación peso a peso
cm^2	Centímetros cuadrados
α	Alfa
β	Beta

- ASHOGBON, A. O., AKINTAYO, E. T. (2014). Recent trend in the physical and chemical modification of starches from different botanical sources: a review. *Starch-Stärke*, 66, 41–57.
- ATWELL, W. A., HOOD, L. F., LINEBACK, D. R., VARRIANO-MARSTON, E., ZOBEL, H. F. (1988). The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. *Cereal foods world.*, 33, 306.
- AYO-OMOGIE, H. N., OGUNSAKIN, R. (2013). Assessment of chemical, rheological and sensory properties of fermented maize-cardaba banana complementary food. *Food and Nutrition Sciences*, 4, 844–850.
- AYO-OMOGIE, H. N., ADEYEMI, I. A., OTUNOLA, E. T. (2010). Effect of ripening on some physicochemical properties of cooking banana (*Musa ABB Cardaba*) pulp and flour. *International Journal of Food Science & Technology*, 45, 2605-2611.
- BASSINELLO, P. Z., CORDENUNSI, B. R., LAJOLO, F. M. (2002). Amylolytic activity in fruits: comparison of different substrates and methods using banana as model. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 5781-5786.
- BEHALL, K. M., SCHOLFIELD, D. J., YUHANIYAK, I., CANARY, J. (1989). Diets containing high amylose vs amylopectin starch: effects on metabolic variables in human subjects. *American Journal of Clinical Nutrition*, 49, 337–344.
- BELLO-PÉREZ, L. A., AGAMA-ACEVEDO, E., SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, L., PAREDES-LOPEZ, O. (1999). Isolation and partial characterization of banana starches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 854–857.
- BEMILLER, J. N., & WHISTLER, R. (2009). *Starch: chemistry and technology*. (J. BeMiller & R. Whistler, Eds.) (Third Edit., pp. 894). San Diego: Academic Press.
- Biology, 56, 73–98.
- BRADFORD, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochemistry*, 72, 248-254
- BUGAUD, C., DEVERGE, E., DARIBO, M.O., RIBEYRE, F., FILS-LYCAON, B., MBÉGUIÉ-A-MBÉGUIÉ, D. (2011). Sensory characterization enabled the first classification of dessert bananas. *J. Sci. Food Agric.* 91, 992–1000.
- CARRILLO, G. M. (2009): Estudio del almidón presente en el fruto de variedades de musáceas cultivadas en Venezuela. Trabajo de tesis doctoral. Universidad Central de Venezuela. Caracas. Venezuela.
- CEBALLOS, H.; SÁNCHEZ, T.; MORANTE, N.; FREGENE, M.; DUFOUR, D.; SMITH, A. M.; DENYER, K.; PÉREZ, J. C.; CALLE, F.; MESTRES, C. (2007). Discovery of an amylose-free starch mutant in cassava (*Manihot esculenta Crantz*). *J. Agric. Food Chem.*, 55, 7469–7476.

- CHAVEZ-SALAZAR, A., BELLOS-PEREZ, L. A., AGAMA-ACEVEDO, E., CASTELLANOS-GALEANO, F. J., ALVAREZ-BARRETO, C. I., PACHECHO-VARGAS, G. (2017). Isolation and partial characterization of starch from banana cultivars grown in Colombia. *International Journal of Biological Macromolecules*, 98, 240-246.
- CORDENUNSI, B. R.; LAJOLO, F. M. (1995). Starch breakdown during banana ripening: Sucrose synthase and sucrose phosphate synthase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43, 347–351.
- CRAIG, S. A. S., MANINGAT, C. C., SEIB, P. A., HOSENEY, R. C. (1989). Starch Paste Clarity. *Cereal Chemistry*, 66, 173-182.
- CUMMINGS, J. H., ENGLYST, H. N. (1995). Gastrointestinal effects of food carbohydrate. *American Journal of Clinical Nutrition*, 61, 938S–945S.
- DA MOTA, R. V., LAJOLO, F. M., CORDENUNSI, B. R., CIACCO, C. (2000). Composition and Functional Properties of Banana Flour from Different Varieties. *Starch/Stärke*. 52, 63–68.
- DARAMOLA, B., OSANYINLUSI, S.A. (2006). Production, characterization and application of banana (*Musa spp*) flour in whole maize. *African Journal of Biotechnology*, 5, 992–995.
- DE BARROS MESQUITA, C., LEONEL, M., LANDI FRANCO, C. M., LEONEL, S., LOLI GARCIA, E., RODRIGUES DOS SANTOS T. P. (2016). Characterization of banana starches obtained from cultivars grown in Brazil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 89, 632-639.
- DEMIGNE, C., SABBOH, H., REMESY, C., MENETON, P. (2004). Protective effects of high dietary potassium: nutritional and metabolic aspects. *Journal of Nutrition*, 134, 2903–2906.
- DHITAL, S., WARREN, F. J., BUTTERWORTH, P. J., ELLIS, P. R., GIDLEY, M. J. (2017). Mechanisms of starch digestion by α -amylase-Structural basis for kinetic properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57, 875–892.
- 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, 7870-7776.
- EGGLESTON, G., SWENNEN, R., AKONI, S. (1992). Physicochemical studies on starches isolated from plantain cultivars, plantain hybrids and cooking bananas. *Starch/Starke*, 44, (4), 121- 128.
- ENGLYST, H. N., KINGMAN, S. M., CUMMINGS, J. H. (1992). Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46, (2), 33–50.

- ETIENNE, A., GÉNARD, M., LOBIT, P., MBEGUIÉ-A-MBÉGUIÉ, D., BUGAUD, C. (2013). What controls fleshy fruit acidity?. A review of malate and citrate accumulation in fruit cells. *J. Exp. Bot.* 64, 1451–1469.
- ETXEBERRIA, E., POZUETA-ROMERO, J., GONZALES, P. (2012). In and out of the plant storage vacuole. *Plant Sci.* 190, 52–61.
- FAISANT, N., GALLANT, D. J., BOUCHET, B., & CHAMP, M. (1995). Banana starch breakdown in the human small intestine studied by electron microscopy. *European Journal of Clinical Nutrition*, 49, 98–104.
- FASASI, O. S. (2008). Functional and visco-elastic properties of traditionally processed quality protein maize (Qpm) seed flours. In: *Proceeding of the 4th Annual Conference of the school of Agriculture and Agricultural Technology of the Federal University of Technology, Akure Nigeria. 19th–21st May 2008. Pp 22–24.*
- FASASI, O. S., ELEYINMI, A. F., OYAREKUA, M. A. (2007). Effect of some traditional processing operations on the functional properties of African bread fruit seed flour. *LWT.* 40, 513–519.
- FATLAND, B. L., NIKOLAU, B. J., WURTELE, E. S. (2005). Reverse genetic characterization of cytosolic acetyl-CoA generation by ATP-citrate lyase in *Arabidopsis*. *Plant Cell*, 17, 182–203.
- FORSTER, M. P., RODRIGUEZ, E. R., ROMERO, C. D. (2002). Differential characteristics in the chemical composition of bananas from Tenerife (Canary Islands) and Ecuador. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, (26), 7586–7592.
- FUENTES-ZARAGOZA, E., RIQUELME-NAVARRETE, M., SÁNCHEZ-ZAPATA, E., PÉREZ-ÁLVAREZ, J. (2010). Resistant starch as functional ingredient: a review. *Food Res. Int.* 43, 931-942.
- GAMLAT, SHIRANI. (2008). Original article Impact of ripening stages of banana flour on the quality of extruded products. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 1541–1548.
- GARCIA, E., LAJOLO, F. M. (1988). Starch transformation during banana ripening: the amylase and glucosidase behavior. *Journal of Food Science*, 53, 1181–1186.
- GIBERT, O., DUFOUR, D., GIRALDO, A., SÁNCHEZ, T., REYNES, M., PAIN, J-P., GONZÁLEZ, A., FERNÁNDEZ, A., DÍAZ, A. (2009). Differentiation between cooking bananas and dessert bananas. 1. Morphological and compositional characterization of cultivated Colombian Musaceae (*Musa* sp.) in relation to consumer preferences. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, (17), 7857 – 7869.
- GLICKSMAN, M. (1969). *Gum Technology in the Food Industry*. Pp. 554. New York: Academic Press.
- GNAKRI, D.; CHAMP, M.; BOUCHET, B.; COLONNA, P.; DELORT-LAVAL, J. (1996). Carbohydrate content and in vitro enzymatic hydrolysis of fufu starch from plantain. *Sci. Aliment.* 16, 297–306.

- GOÑI, I., GARCIA-ALONSO, A., SAURA-CALIXTO, F. (1997). A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition Research*, 17, (3), 427-437.
- HOLM, J., BJÖRCK, I., DREWS, A., ASP, N. G. (1986). A rapid method for the analysis of starch. *Starch-Stärke*, 38, (7), 224-226.
- HOOVER, R., HADZIYEV, D. (1981). The effect of monoglycerides on amylose complexing during a potato granule process. *Starch/ Stärke*, 33, 346–355.
- HOYOS-LEYVA J. D., BELLO-PÉREZ, L.A., AGAMA-ACEVEDO, E., ALVAREZ-RAMIREZ, J. (2015). Optimising the heat moisture treatment of Morado banana starch by response surface analysis, *Starch/Starke* 67, 1026–1034.
- HUIJUN GAO, SHAOBO HUANG, TAO DONG, QIAOSONG YANG, GANJUN YI. (2016). Analysis of resistant starch degradation in postharvest ripening of two banana cultivars: Focus on starch structure and amylases. *Postharvest Biology and Technology*, 119, 1-8.
- JACOBSON, M. R., OBANNI, M., BEMILLER, J. N. (1997). Retrogradation of starches from different botanical sources. *Cereal Chemistry*, 74, 571–578.
- JANE, J. L.; WONG, K. S.; MCPHERSON, A. E. (1997). Branch-structure difference in starches of A- and B-type X-ray patterns revealed by their Naegeli dextrans. *Carbohydrate Research*, 300, 219–227.
- JULANTI, E., RUSMARILIN, H., RIDWANSYAH, E. Y. (2015). Functional and rheological properties of composite flour from sweet potato, maize, soybean and xanthan gum. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* 5, 1–7.
- JULLIEN, A., CHILLET, M., MALEZIEUX, E. (2008). Pre-harvest growth and development, measured as accumulated degree-days; determine the post-harvest green life of banana fruit. *J. Hortic. Sci. Biotechnology*. 83, 506–512.
- KEISHI SHIMOKAWA, YOSHINORI UEDA, ZENZABURO KASAI. (1972). Decarboxylation of Oxalic Acid during Ripening of Banana Fruit (*Musa sapientum* L.), *Agricultural and Biological Chemistry*, 36, 2021-2024.
- KYAMUHANGIRE, W., MYHRE, H., SORENSEN, H. T., & PEHRSON, R. (2002). Yield, characteristics and composition of banana juice extracted by the enzymatic and mechanical methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82, 478–482.
- LAEMMLI, U. K. (1970). Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, 227, 680–5.
- LAWAL, O. S., LAPASIN, R., BELLICH, B., OLAYWOLA, T. O., CESÀRO, A., YOSHIMURA M. (2011). Rheology and functional properties of starches isolated from five improved rice varieties from West Africa. *Food Hydrocolloids*, 25, 1785–1792.

- LIMPISUT, P., JINDAL, V. K. (2002). Comparison of rice flour pasting properties using Brabender viscoamylograph and rapid visco analyser for evaluating cooked rice texture. *Starch - Stärke*, 54, 350–357.
- LUTTGE, U., RATAJCZAK, R. (1997). The physiology, biochemistry and molecular biology of the plant vacuolar ATPase. *Adv. Bot. Res. Incorpor. Adv. Plant Pathol.* 25, 253–296.
- MAO, W. W., KINSELLA, J. E. (1981). Amylase Activity in Banana Fruit: Properties and Changes in Activity with Ripening. *Journal of Food Science*, 46, 1400-1403.
- MARRIOTTE, J., ROBINSON, M., KARIKARI, S. K. (1981). Starch and sugar transformation during ripening of plantains and banana. *Trop. Sci.* 32, 1021–1026.
- MCPHERSON, A. E., JANE, J. (1999). Comparison of waxy potato with other root and tuber starches. *Carbohydr. Polym.* 40: 57-70.
- MESTRES, C., MATENCIO, F., PONS, B., YAJID, M., FLIEDEL, G. (1996). A rapid method for the determination of amylose content by using scanning calorimetry, *Starch-Stärke*, 48, 2-6.
- MILLAN-TESTA, C. E., MENDEZ-MONTEALVO, M. G., OTTENHOF, M-A., FARHAT, I. A., BELLO-PEREZ, L. A. (2005). Determination of the Molecular and Structural Characteristics of Okenia, Mango, and Banana Starches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 485-501.
- MISHRA, S., RAI, T. (2006). Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. *Food Hydrocolloids*, 20, 557–566.
- MOORTHY, S. N. (2002). Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: a review. *Starch-Starke*, 54, 559–592.
- MOORTHY, S. N., RICKARD, J., BLANSHARD, J. M., In: DUFOUR, D., O'BRIEN, G. M., BEST, R. (Eds.), *Cassava Flour and Starch: Progress in Research and Development*, CIAT, Cali 1996, pp. 150–155.
- MORENO-ALZATE, J. H. (2011). Evaluación de la fermentación por HPLC de diferentes variedades de musáceas en el proceso de obtención de alcohol carburante. BSc Thesis. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.
- MORGAN, M. M., OSORIO, S., GEHL, B., BAXTER, C. J., KRUGER, N. J., RATCLIFFE, R. G., FERNIE, A. R., SWEETLOVE, L. (2013). Metabolic engineering of tomato fruit organic acid content guided by biochemical analysis of an introgression line. *Plant Physiology*, 161, 397–407.
- NASCIMENTO, J. R. O.; VIEIRA-J_UNIOR, A.; BASSINELLO, P. Z.; CORDENUNSI, B. R.; MAINARDI, J. A.; LAJOLO, F. M. (2006). Beta-amylase expression and degradation during banana ripening. *Postharvest Biology and Technology*, 40, 41–77.

- NIMSUNG, P., THONGNGAM, M., NAIVIKUL, O. (2007). Compositions, morphological and thermal properties of green banana flour and starch. *Kasetsart Journal (Nat. Sci.)*, 41, 324–330.
- OKEZIE, U., AKANBI, C. T., OTUNOLA, E. T., ADEYEMI, I. A. (2003). Effect of addition of ripe bananas on some physicochemical properties of maize extract. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 54, 437–445.
- OSUJI, J. O., NDUKWU, B. C. (2005). Probable functions and remobilisation of calciumoxalates in *Musa L.* *Afr. J. Biotechnol.* 4, 1139–1141.
- OTEGBAYO, B., LANA, O., IBITOYE, W. (2010). Isolation and physicochemical characterization of starches isolated from plantain (*Musa paradisiaca*) and cooking banana (*Musa sapientum*). *Journal of Food Biochemistry*, 34, 1303–1318.
- PALMER, J. K. (1971). The banana. In: *The Biochemistry of Fruits and their Products* (edited by A.C. Hulme). Pp. 2. Vol 2. London: Academic press.
- PELISSARI, F. M., ANDRADE-MAHECHA, M. M., DO AMARAL SOBRAL, P. J., MENEGALLI, F. (2012). Isolation and characterization of the flour and starch of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). *Starch/Stärke*, 64, 382-391.
- PERONI-OKITA, F. H., CARDOSO, M. B., AGOPIAN, R. G., LOURO, R. P., NASCIMENTO, J. R., PURGATTO, E., TAVARES, M. I., LAJOLO, F. M., CORDENUNSI, B. R. (2013). The cold storage of green bananas affects the starch degradation during ripening at higher temperature. *Carbohydrate Polymers*, 96, 137–147.
- PICAULT, N., HODGES, M., PALMIERI, L., PALMIERI, F. (2004). The growing family of mitochondrial carriers in *Arabidopsis*. *Trends Plant Sci.* 9, 138–146.
- PINEDA-GÓMEZ, P.; CORAL, D. F.; RAMOS-RIVERA, D.; ROSALES-RIVERA, A.; RODRÍGUEZ-GARCÍA, M. E. (2011). Thermo-alkaline treatment. A process that changes the thermal properties of corn starch. *Procedia Food Science*, 1, 370–378.
- PUA, E. C., CHANDRAMOULI, S., HAN, P., LIU, P. (2003). Malate synthase gene expression during fruit ripening of Cavendish banana (*Musa acuminata* cv Williams). *J. Exp. Bot.* 54, 309–316.
- PURGATTO, E.; LAJOLO, F. M.; NASCIMENTO, J. R. O.; CORDENUNSI, B. R. (2002). The onset of starch degradation during banana ripening is concomitant to changes in the content of free and conjugated forms of indole-3-acetic acid. *Journal of Plant Physiology*, 159, 1105–1111.
- RODRÍGUEZ-AMBRIZA, S. L., ISLAS-HERNANDEZA, J. J., AGAMA-ACEVEDO, E., TOVAR, J., BELLO-PÉREZ, L. A. (2008). Characterization of a fiber-rich power prepared by liquefaction of unripe banana flour. *Food Chemistry*, 107, 1515-1521.
- ROSALES-REYNOSO, O. L., AGAMA-ACEVEDO, E., AGUIRRE-CRUZ, A., BELLO-PÉREZ, L. A., DUFOUR, D., GILBERT, O. (2014). Physicochemical evaluation of cooking and dessert bananas (*Musa sp.*) Varieties, *Agrociencia*, 48, 387–401.

- SAJILATA, M. G., SINGHAL, R. S., KULKARNI, P. R. (2006). Resistant starch: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5, 1-17.
- SHIMELIS, E. A., MEAZA, M., RAKSHIT, S. (2006). Physico-chemical properties, pasting behavior and functional characteristics of flours and starches from improved bean (*Phaseolus vulgaris L.*) varieties grown in east africa. *Agricultural Engineering*, 8, 1–18.
- SHRESTHA, A. K., NG, C. S., LOPEZ-RUBIO, A., BLAZEK, J., GILBERT, E. P., GIDLEY, M. J. (2010). Enzyme resistance and structural organization in extruded high amylose maize starch. *Carbohydrate Polymers*, 80, 699–710.
- SINGH, N., SINGH, J., KUAR, L., SODHI, N. S., GILL, B. S. (2003). Morphology, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81, 219-231.
- SMITH, A. M., ZEEMAN, S. C., SMITH, S. M. (2005). Starch degradation. *Annual. Reviews of Plant*
- SOARES, C. A., PERONI-OKITA, F. H. G. A., CARDOSO, M. B., SHITAKUBO, R., LAJOLO, F. M., CORDENUNSI, B. R. (2011). Plantain and banana starches: granule structural characteristics explain the differences in their starch degradation patterns. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 6672–6681.
- SOARES, C. A., PERONI-OKITA, F. H., CARDOSO, M. B., SHITAKUBO, R., LAJOLO, F. M., CORDENUNSI, B. R. (2011). Plantain and banana starches: granule structural characteristics explain the differences in their starch degradation patterns. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 6672-6681.
- SRIKAE0, K., MINGYAI1, S., SOPADE, P. A. (2011). Physicochemical properties, resistant starch content and enzymatic digestibility of unripe banana, edible canna, taro flours and their rice noodle products. *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 2111–2117.
- STEELE, A. F. (1997). Characterisation of starch in Musa fruits. PhD thesis. University of Bath; pp 187.
- STOMMEL, J. R. (1992). Enzymic components of sucrose accumulation in the wild tomato species *Lycopersicon peruvianum*. *Plant Physiology*, 99, 324–328.
- TESTER, R. F., MORRISON, W. R. (1990). Swelling and gelatinization of cereal starches. II. Waxy rice starches. *Cereal Chemistry*, 67, 558–563.
- THARANATHAN, R.N. (2002). Food-derived carbohydrates–Structural complexity and functional diversity. *Critical Reviews in Biotechnology*, 22, 65–84.
- THOMAS, D., ATWELL, W. (1988). *Starches*. (American Association of Cereal Chemists (AACC), Ed.) (pp. 94). St. Paul, Minn. U.S.A.: Eagan Press.
- US Department of Agriculture, Agricultural Research Service (USDAARS), 2004. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 17. Nutrient Data

Laboratory Home Page, World Wide Web:
[/http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcompS](http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcompS).

US Department of Agriculture, US Department of Health and Human Services (USDA/HHS), 2004. 2005 Dietary Guidelines Advisory Committee Report. World Wide Web: [/http://www.health.gov/dietaryguidelines/dga2017/reportS](http://www.health.gov/dietaryguidelines/dga2017/reportS).

VATANASUCHART, N., NIYOMWIT, B., WONGKRAJANG, K. (2012). Resistant starch content, in vitro starch digestibility and physico-chemical properties of flour and starch from Thai bananas. *International Journal of Science and Technology*, 6, 259–271.

WHO/FAO. 2003. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. Report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation, WHO Technical Report Series 916. Geneva: World Health Organization.

YUN-YI XIAO, JIAN-FEI KUANG, XIN-NA QI, YU-JIE YE, ZHEN-XIAN WU, JIAN-YE CHEN, WANG-JIN LU. (2018). A comprehensive investigation of starch degradation process and identification of a transcriptional activator MabHLH6 during banana fruit ripening. *Plant Biotechnology Journal*, 16, 151-164.

ZAIDUL, I. S. M., ABSAR, N., KIM, S. J., SUZUKI, T. et al. (2008). DSC study of mixtures of wheat flour and potato, sweet potato, cassava, and yam starches. *J. Food Eng.* 86, 68–73.

ZHANG, P., HAMAKER, B. R. (2012). Banana starch structure and digestibility, *Carbohydrate Polymer*, 87, 1552–1558.

ZHANG, P., WHISTLER, R. L., BEMILLER, J. N., HAMAKER, B. R. (2005). Banana starch: Production, physicochemical properties, and digestibility: A review. *Carbohydrate Polymers*, 59, 443–458.

ZHOU, M., ROBARDS, K., GLENNIE-HOLMES, M., HELLIWELL, S. (1998). Structure and pasting properties of oat starch. *Cereal Chemistry*. 1998, 75, 273–281.