

Caracterización por colorimetría de accesiones de plátano del Sistema de Bancos de Germoplasma en Colombia

Colorimetry characterization for banana accessions of the Germplasm Bank System in Colombia

Ayda Lilia Enriquez Valencia^{1*}, Alvaro Caicedo Arana¹, Luis Eduardo Ordoñez Santos², Eberto Rodríguez Henao¹.

1.Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA. 2.Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira.

*Autor para correspondencia: alenriquez.v@gmail.com, Autor de consulta: leordonezs@unal.edu.co

Rec.: 2018-06-30 Acep.: 2019-12-28

Resumen

El color es uno de los atributos sensoriales que mejor define la calidad de un alimento, no obstante las investigaciones sobre el color superficial de pulpa de frutos de musáceas en Colombia son escasas. Esta información es de gran utilidad para identificar materiales promisorios destinados para consumo fresco y procesamiento agroindustrial. En este estudio se caracterizó el color superficial de la pulpa de 25 accesiones de plátano *Musa* sp. (Musaceae) del Banco de Germoplasma de Musáceas del Sistema de Bancos de Germoplasma de la Nación para la Alimentación y la Agricultura (SBGNAA) existente en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia) en Palmira, Colombia. Las coordenadas $CIE_{L^*a^*b^*}$ fueron determinadas por triplicado utilizando un colorímetro, entre ellas se calcularon parámetros de cromaticidad (C^*), tonalidad (h°) y diferencia de color (ΔE). Las accesiones de plátano presentaron rangos de $L^*(17.31-79.30)$, $a^*(8.73-30.64)$, y $b^*(15.24-95.49)$, $C^*(17.77-98.22)$, $h^\circ(38.24-81.00)$ y $\Delta E^*(147.07-6851.24)$. Las pulpas de plátano fueron clasificadas colorimétricamente entre amarillos tenues a amarillos intensos. La variación de las coordenadas colorimétricas a^* , h° , y ΔE se ajustaron a una cinética de orden cero; y L^* , b^* y C^* describieron una cinética de primer orden. Las accesiones Benedetta, Cachaco espermo, Cachaco sin bellota, Dominico mocho, Dominico mutante, GAEP-2, Hartón tigre y Maia Maoli Risaralda, fueron clasificadas como materiales promisorios para consumo en fresco o procesos agroindustriales, por los bajos valores de la constante de velocidad cinética (k) registrados en el presente estudio.

Palabras clave: Color superficial, *Musa balbisiana*, pardeamiento, polifenol oxidasa, recursos genéticos, Colombia.

Abstract

Color is one of the sensory attributes that best define the quality of a food, however, to date there are no scientific investigations that record the study of superficial color of the fruit pulp of Musaceae, which provides useful information to identify promising materials destined for fresh consumption and agroindustrial processing. Surface color of plantain, *Musa* sp. (Musaceae) pulp from the Musaceae Germplasm Bank of the Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia) was characterized. The $CIE_{L^*a^*b^*}$ coordinates of the pulp of 25 plantain accessions were determined in triplicate using a colorimeter. From the coordinates of the surface color, parameters of chromaticity (C^*), hue (h°), and color difference (ΔE) were calculated. Plantain accessions presented a range of L^* (17.31-79.30), a^* (8.73-30.64), and b^* (15.24-95.49), C^* (17.77) -98.22, h° 38.24-81.00 and ΔE^* (147.07-6851.24). The plantain pulps can be classified colorimetrically among mild to intense yellows. Variation of the colorimetric coordinates a^* , h° , and ΔE were adjusted to zero-order kinetics, and L^* , b^* and C^* described a first-order kinetics. Accessions Benedetta, Cachaco espermo, Cachaco sin bellotae, Dominico mocho, Dominico mutant, GAEP-2, Hartón tigre and Maia Maoli Risaralda, are reported as promising materials for fresh consumption or agroindustrial processes, due to the low values of the constant speed kinetics (k) recorded in the present study.

Keywords: browning, genetic resources, *Musa balbisiana*, polifenol oxidase, superficial color, Colombia.

Introducción

Los plátanos *Musa* sp. (Musaceae) son considerados como la cuarta fuente de energía de mayor importancia, después del maíz, arroz y trigo, con una producción mundial de 37.87 millones de toneladas. Después de Uganda, Colombia es el segundo productor de musáceas en el mundo con 3.30 millones de toneladas (FAO, 2014). Los programas de mejoramiento genético en musáceas se han orientado principalmente al desarrollo de variedades resistentes a plagas y enfermedades; no obstante, algunas de ellas son rechazadas por los consumidores debido a la presencia de atributos no deseables en sus características organolépticas (Dzomeku, Osei, Ankomah, Akyeampong y Darkey, 2006; Arvanitoyannis y Mavromatis, 2009).

En la calidad de los alimentos, la apariencia es el atributo visual más importante, ya que relaciona el tamaño, la forma y el color (Werner, Machado, Poncio y Ferreira, 2009). El color es uno de los factores que mejor define la apariencia de un alimento. En plátanos, cuando la pulpa es cortada, los altos niveles de pardeamiento enzimático son una de las principales causas de pérdida de calidad poscosecha (Martínez, Pagán, Garza e Ibarz, 2010). El pardeamiento enzimático es causado por la acción de la Polifenoloxidasas (PPOs) sobre los fenoles contenidos en el fruto, causando su oxidación y polimerización (García, Giraldo, Hurtado y Mendivil, 2006; Quinde, Ullrich y Baik, 2004).

El color superficial de un fruto o alimento puede ser identificado a partir de varios sistemas, entre ellos el más utilizado es $CIE_{L^*a^*b^*}$ (Commission Internationale de l'Eclairage) que define las coordenadas L^* , a^* y b^* , donde L^* es el eje vertical y representa la medida de luminosidad de un color, variando desde cero para color negro hasta 100 para color blanco; a^* es uno de los dos ejes horizontales que define la desviación del punto cromático correspondiente a la claridad, hacia el rojo si es mayor y hacia el verde si es menor que cero; y b^* es el otro eje horizontal perpendicular al eje a^* y define la desviación hacia el amarillo si es mayor y hacia el azul si es menor que cero. Con los valores obtenidos de L^* , a^* y b^* es posible calcular el índice de saturación del color o croma (C^*), el ángulo de tonalidad (h°) y el cambio de color total ΔE^* (Hernández, Barrera, Martínez y Fernández, 2009).

Estudios sobre el color superficial en frutos en almacenamiento de *Musa acuminata* Colla (tipo Cavendish) y *Musa paradisiaca* L., demuestran los aumentos en los valores de a^* y b^* , lo que corresponde a la maduración (Salvador, Sanz y Fiszman, 2007). Werner et al. (2009) evaluaron el cambio de color del banano durante el

almacenamiento a partir de escala visual e imágenes digitales, encontrando relación entre ambos métodos. Ji et al. (2013) presentaron una nueva metodología de imagen digital que podría ser utilizada para estimar con mayor precisión los estados de maduración de musáceas. Sin embargo, a la fecha en Colombia no existen investigaciones científicas sobre el color superficial en la pulpa de plátano, información que es de gran utilidad para identificar materiales promisorios. El objetivo de este estudio fue caracterizar el color superficial de la pulpa del fruto de 25 accesiones de plátano del banco de Germoplasma de musáceas de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), en el Centro de Investigación (C.I.) Palmira, Colombia.

Materiales y métodos

Material vegetal

Se utilizaron frutos de 25 accesiones de plátanos del Banco de Germoplasma de Musáceas del -SBGNAA (Sistema de Bancos de Germoplasma de la Nación para la Alimentación y la Agricultura) establecido en Agrosavia en el Centro de Investigación de Palmira, Valle del Cauca, Colombia, ubicado a 1000 m.s.n.m., 24 °C y 1200 mm de precipitación, promedio anual. El manejo agronómico se realizó con base en protocolos ya establecidos (Belalcázar, 1991), los cuales fueron programados anual, mensual y semanalmente. Los racimos fueron identificados mediante el conteo de plantas recién paridas (primera semana de aparición de la bellota). Esto permitió tener un inventario de las posibles plantas que se incluyeron en el estudio. Se observaron los frutos hasta que las aristas de estos se redujeron y el color verde de los dedos de la primera mano del racimo presentó una tonalidad amarilla, momento en el que se cosechó, según la guía técnica INIBAP (Dadzie y Orchard, 1997).

Evaluación fisicoquímica

Todas las evaluaciones fisicoquímicas se realizaron de acuerdo con los protocolos descritos por Dadzie y Orchard (1997), para el efecto se pesaron 30 g de pulpa del dedo central de la segunda mano que se licuaron durante 2 min en un mezclador con 90 ml de agua destilada antes de ser pasados por un filtro. El pH se determinó utilizando un potenciómetro modelo 744 meter metrohm. La acidez se midió por titulación con reacción ácido/base y los resultados se expresaron en gramos de ácido málico/100 g. pulpa. El contenido de materia seca (MS%) se obtuvo mediante la diferencia de peso fresco y seco.

Determinación del color superficial

Después de la cosecha de los racimos se seleccionó un fruto central de la cuarta mano, la pulpa fue homogenizada en trazos de un milímetro de espesor y colocada en cajas Petri para realizar la lectura de color en condiciones ambientales. Para la calificación del color se utilizó un colorímetro portátil marca CR410 de Konica Minolta, un ángulo de observador de 10°, iluminante D65, la calibración del equipo se realizó con la placa de valores de referencia X = 79.01, Y = 83.96, Z = 86.76. A partir de los espectros de reflexión se obtuvieron las coordenadas de color de CIE_{L*a*b*}, las cuales fueron registradas, para cada muestra por triplicado en diferentes tiempos (0, 15, 30, 60 y 120 minutos, respectivamente) después de la preparación de la muestra. Los parámetros de color calculados fueron croma (C*), ángulo de tonalidad (h°) y cambio de color (ΔE*), según las ecuaciones 1, 2 y 3, respectivamente (Ramírez y Rodríguez, 2012). Los datos registrados en el colorímetro fueron analizados utilizando Microsoft Excel® (versión 2010) y expresados como promedio aritmético.

$$C^* = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \text{Ec. 1}$$

$$h^* = \arctg\left(\frac{b}{a}\right) \quad \text{Ec. 2}$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad \text{Ec. 3}$$

Determinación de parámetros cinéticos

Para la aplicación de la cinética de cambio de color existen varias ecuaciones que permiten determinar dichos cambios de materiales en alimentos como una función en el tiempo (Bal, Kar, Satya y Naik, 2011). La tasa de cambio de un factor de calidad C puede ser representado por la ecuación 4.

$$\frac{dC}{dt} = -kC^n \quad \text{Ec. 4}$$

Donde, *k* es la constante de velocidad cinética, C es el valor del color superficial de interés en el tiempo *t*, y *n* es el orden de la reacción. Para la mayoría de los alimentos, las relaciones de dependencia del tiempo son descritas por modelos cinéticos de orden cero (Ecuación 5) y de primer orden (Ecuación 6) (Bal et al., 2011), mediante la integración de la ecuación 4.

$$C = C_0 \pm kt \quad \text{Ec. 5}$$

$$C = C_0 \exp(\pm kt) \quad \text{Ec. 6}$$

donde, *C*₀ es el valor inicial de color y *C* es el valor de color en un tiempo específico. En las ecuaciones, (±) indica la formación y la degradación de cualquier parámetro de calidad (Bal et al., 2011). El orden de la reacción para los parámetros de color superficial de la pulpa de plátano se determinó mediante el ajuste de los datos experimentales a las Ecuaciones 5 y 6, utilizando análisis de regresión lineal. En cada caso, se seleccionó el mejor ajuste y se determinó la constante de velocidad cinética de la reacción.

Análisis estadístico

Los tratamientos fueron registrados por triplicado y presentados en valores medios y desviación estándar. El análisis de color CIE_{L*a*b*} en las muestras se realizó mediante regresión lineal usando Microsoft® Excel® para Office 365 MSO versión 1908. Para determinar las muestras que presentaban el menor nivel de pardeamiento se hicieron análisis de regresión y se determinó el coeficiente de correlación (R²).

Resultados

Las propiedades fisicoquímicas en las pulpas de plátano evaluadas presentaron un rango de pH entre 4.97 y 6.33, una acidez titulable entre 0.03 y 0.11 g de ácido málico/100g pulpa y un contenido de materia seca entre 2.63 y 45.03%. En los Cuadros 1 y 2 se incluyen los atributos de color superficial en la pulpa de las diferentes accesiones en función del tiempo de evaluación y el parámetro cinético *k* estimado para las cinéticas de orden 0 y 1. Los valores iniciales de las coordenadas colorimétricas en 25 accesiones analizadas registraron rangos: L*(17.31-79.30), a*(8.73-30.64), y b*(15.24-95.49), C*(17.77-98.22), h°(38.24-81.00) y ΔE*(147.07-6851.24) (Cuadro 1). Durante la evaluación de la pulpa, las coordenadas de color L*, a*, b*, C*, y h* se redujeron mientras que ΔE se incrementó (Cuadro 2).

La modelación de los cambios de color en las muestras analizadas se realizó aplicando las cinéticas de orden 0 y 1, tal como se puede observar en el Cuadro 2. La variación de las coordenadas colorimétricas a*, h°, y ΔE se ajustaron a una cinética de orden cero (0), donde los parámetros cinéticos de *k* en las variables de color: a* fue 0.0002-0.08 min⁻¹ R² = 0.00001-0.89; h*, *k* = 0.04-0.30 min⁻¹ R² = 0.45-0.99; y ΔE, *k* = 18.46-53.39 min⁻¹ R² = 0.67-0.98 (Cuadro2). En el caso de las coordenadas L*, b* y C* los cambios de color se describen con una cinética de primer orden donde los valores de *k* oscilaron para L*, *k* = 0.0033-0.01 min⁻¹, R² = 0.73-0.99; b*, *k* = 0.003-0.01 min⁻¹, R² = 0.51-0.99 y; C*, *k* = 0.0021-0.011 min⁻¹, R² = 0.54-0.98 (Cuadro 2).

Cuadro 1. Parámetros de color superficial de accesiones de plátano en el Sistema de Bancos de Germoplasma en Colombia. Agrosavia, C.I. Palmira.

Accesión	Tiempo (minutos)	L*	a*	b*	C*	h*	ΔE
¾ naine	0	65.0±1.3	28.7±0.5	84.9±1.3	89.6±1.2	71.4±0.5	6452.8±278.0
	120	32.3±0.8	26.0±3.4	40.0±1.3	47.8±1.5	57.1±4.0	
Benedetta	0	71.3±0.7	16.3±0.3	83.3±1.6	84.9±1.6	78.9±0.2	5305.2±374.2
	120	42.5±3.4	15.9±0.5	52.6±1.8	54.9±1.6	73.2±1.0	
Cachaco espermio	0	76.6±1.1	13.4±0.6	84.3±1.2	85.4±1.1	81.0±0.5	6522.7±53.1
	120	41.2±1.4	18.1±0.8	45.8±2.7	49.2±2.2	68.4±1.9	
Cachaco sin bellota	0	74.3±3.6	16.9±0.8	79.9±1.5	81.7±1.3	78.0±0.7	4626.6±750.7
	120	46.3±1.1	22.5±0.3	57.0±2.0	61.2±1.9	68.4±0.8	
Dominico enano	0	53.9±0.5	22.0±0.3	34.8±0.3	41.2±0.2	57.8±0.6	2298.4±102.9
	120	28.2±1.6	19.9±0.7	17.3±1.1	26.4±1.2	41.0±0.9	
Dominico Hartón Támesis	0	59.2±0.9	25.6±0.4	82.6±1.4	86.5±1.4	72.8±0.1	6436.1±206.3
	120	26.0±1.0	23.0±0.5	32.4±2.0	39.7±1.9	54.6±1.1	
Dominico maqueño	0	59.9±8.8	18.4±1.1	65.2±3.1	67.7±3.3	74.3±0.2	4532.6±523.6
	120	26.1±0.6	23.2±0.2	30.4±0.1	38.3±0.1	52.6±0.3	
Dominico mocho	0	57.9±0.4	21.0±0.9	36.7±0.2	42.2±0.6	60.2±0.9	2078.8±88.9
	120	38.4±1.7	17.1±0.3	22.1±0.4	28.0±0.5	52.2±0.3	
Dominico mutante	0	73.9±0.1	10.3±0.3	62.2±1.3	63.1±1.3	80.6±0.1	4234.3±162.1
	120	44.0±1.3	20.3±0.1	39.2±0.4	44.2±0.4	62.6±0.3	
FHIA 110	0	62.8±0.9	16.1±0.2	60.4±2.1	62.5±2.0	75.1±0.4	4782.2±436.8
	120	21.6±3.1	24.5±0.5	19.5±3.5	31.4±2.6	38.2±4.3	
Figue famile	0	57.7±1.6	17.5±0.3	53.9±0.7	56.7±0.7	72.0±0.2	3554.2±165.2
	120	25.1±0.9	24.5±0.5	24.9±1.2	34.9±1.2	45.4±1.0	
GAEP-2	0	58.7±3.6	16.3±0.3	70.1±0.5	71.9±0.6	76.9±0.2	4825.0±357.4
	120	35.9±7.6	16.8±3.3	25.1±1.6	30.3±3.2	56.4±3.5	
Hartón tigre	0	65.4±0.9	22.4±0.2	89.7±0.6	92.5±0.5	76.0±0.2	4871.0±531.9
	120	44.2±3.2	25.0±0.4	61.3±4.4	66.2±4.1	67.8±1.4	
Hondureño enano	0	71.0±6.1	23.6±2.9	78.5±3.7	81.9±4.4	73.3±1.3	6574.6±372.8
	120	30.9±3.5	24.2±0.4	32.6±1.6	40.7±1.1	53.4±1.8	
Kelongmekintu	0	47.2±1.9	19.6±0.6	62.4±2.5	65.4±2.5	72.5±0.2	4147.3±207.5
	120	17.3±1.5	8.7±1.5	15.2±4.4	17.8±3.2	58.9±10.4	
Maiamaoli Risaralda	0	79.3±0.3	23.0±0.1	95.5±0.8	98.2±0.7	76.5±0.1	6851.2±237.9
	120	47.4±1.1	27.3±0.4	59.9±3.0	65.9±2.8	65.2±0.9	
Mbindi	0	54.1±2.3	15.1±0.8	56.6±0.6	58.7±0.5	74.5±0.8	2823.6±84.5
	120	30.0±2.1	24.9±0.1	35.7±1.0	43.5±0.8	55.1±0.8	
Mbourou kou-1	0	54.1±1.2	22.4±1.3	74.2±0.7	77.5±0.4	73.2±1.1	4834.1±176.8
	120	26.9±0.5	24.1±0.2	34.6±0.6	42.2±0.4	55.2±0.6	
Neypoovan	0	62.2±2.5	13.1±0.4	43.5±1.6	45.4±1.4	73.2±0.9	3499.4±194.0
	120	27.3±4.7	12.4±0.5	17.4±1.9	21.4±1.8	54.6±1.9	
Pompo o comino	0	63.2±3.9	21.7±0.9	66.2±1.2	69.6±1.4	71.8±0.5	5395.1±353.3
	120	18.3±0.4	23.5±0.7	20.9±0.5	31.5±0.9	41.7±0.2	
Hibrido saba2	0	58.0±1.4	16.0±0.8	61.9±0.6	64.0±0.7	75.5±0.5	3133.5±118.0
	120	33.7±0.6	26.2±0.3	41.0±0.2	48.6±0.1	57.5±0.2	
Pompo o comino Risaralda	0	63.1±1.5	26.1±0.2	76.9±0.6	81.3±0.5	71.0±0.1	5026.0±725.9
	120	35.3±5.8	22.3±0.2	40.7±6.3	46.6±5.6	60.9±3.5	
Hartón Santander	0	71.3±0.4	12.0±0.2	69.4±0.1	70.6±0.2	79.5±0.4	6464.8±144.5
	120	19.7±2.1	19.1±0.2	19.1±2.2	27.1±1.7	44.9±3.3	
BLANCO SARDY	0	54.2±2.2	27.0±0.4	73.1±2.2	78.2±2.2	69.1±0.4	4401.3±484.5
	120	29.2±0.9	30.1±0.1	38.4±1.2	48.8±1.0	51.9±0.8	
Hartón Macho	0	61.6±0.4	21.7±0.7	81.6±1.7	84.4±1.7	75.1±0.3	5023.2±263.2
	120	36.9±0.1	25.2±0.3	47.6±0.6	53.9±0.7	62.0±0.1	

Cuadro 2. Parámetros cinéticos estimados para accesiones de plátano en el Sistema de Bancos de Germoplasma en Colombia. Agrosavia, C.I. Palmira.

Nombre	Parámetro	Cinética Orden Cero			Cinética Orden Uno		
		a*	h°	ΔE	L*	b*	C*
¾ naine	K	0.03	0.1	48.2	0.006	0.006	0.005
	R ²	0.31	0.9	0.9	0.97	0.98	0.98
Benedetta	K	0.01	0	36.2	0.004	0.004	0.003
	R ²	0.21	0.5	0.69	0.73	0.84	0.86
Cachaco espermo	K	0.03	0.1	52.6	0.005	0.005	0.005
	R ²	0.57	1	0.94	0.98	0.95	0.95
Cachaco sin bellota	K	0.04	0.1	33.8	0.004	0.003	0.002
	R ²	0.87	0.9	0.79	0.85	0.79	0.77
Dominico enano	K	0.02	0.1	18.5	0.005	0.006	0.004
	R ²	0.55	0.9	0.9	0.96	0.96	0.96
Dominico Hartón Támesis	K	0.03	0.2	53	0.007	0.008	0.007
	R ²	0.52	1	0.96	0.99	0.98	0.98
Dominico maqueño	K	0.03	0.2	35.6	0.007	0.006	0.005
	R ²	0.29	1	0.85	0.94	0.98	0.98
Dominico mocho	K	0.03	0.1	18.5	0.004	0.005	0.004
	R ²	0.6	0.9	0.96	0.95	0.98	0.97
Dominico mutante	K	0.08	0.2	33.2	0.004	0.004	0.003
	R ²	0.89	1	0.94	0.97	0.97	0.95
FHIA-110	K	0.06	0.3	35.2	0.009	0.009	0.005
	R ²	0.6	0.9	0.75	0.93	0.92	0.86
Figue famile	K	0.05	0.2	28.2	0.007	0.006	0.004
	R ²	0.79	1	0.9	0.99	0.99	0.97
GAEP-2	K	0.0002	0.2	40.2	0.004	0.009	0.007
	R ²	1.00E-05	0.9	0.93	0.74	0.98	0.97
Hartón tigre	K	0.02	0.1	41.5	0.003	0.003	0.003
	R ²	0,71	1	0,98	0,94	0,94	0,94
Hondureño enano	K	0.0003	0.16	47.69	0.0068	0.0069	0.006
	R ²	0.0001	0.94	0.79	0.9	0.93	0.91
Kelongmekintu	K	0.08	0.13	31.39	0.009	0.01	0.011
	R ²	0.72	0.45	0.76	0.89	0.93	0.96
MaiaMaoli Risaralda	K	0.03	0.1	53.39	0.0041	0.004	0.0034
	R ²	0.75	0.52	0.69	0.88	0.51	0.54
Mbindi	K	0.07	0.16	22.1	0.0048	0.0038	0.0024
	R ²	0.82	0.97	0.91	0.95	0.99	0.98
Mbourou kou-1	K	0.01	0.14	35.54	0.0053	0.006	0.005
	R ²	0.2	0.97	0.86	0.95	0.97	0.97
Neypoovan	K	0.01	0.14	26.43	0.007	0.0075	0.0062
	R ²	0.13	0.88	0.79	0.86	0.96	0.96
Pompo o comino	K	0.002	0.25	40.26	0.01	0.0098	0.007
	R ²	0.002	0.99	0.8	0.94	0.99	0.98
Hibrido saba-2	K	0.08	0.15	24.32	0.004	0.0033	0.0021
	R ²	0.89	0.96	0.91	0.97	0.97	0.95
Pompo o comino Risaralda	K	0.03	0.08	36.94	0.005	0.0051	0.0044
	R ²	0.57	0.75	0.67	0.75	0.74	0.73
Hartón Santander	K	0.03	0.28	47.58	0.01	0.0106	0.008
	R ²	0.22	0.92	0.76	0.96	0.95	0.94
BLANCO SARDY	K	0.02	0.14	34.57	0.005	0.0053	0.0039
	R ²	0.33	0.97	0.85	0.96	0.97	0.96
Hartón Macho	K	0.03	0.11	43.35	0.004	0.0047	0.004
	R ²	0.75	0.97	0.98	0.97	0.96	0.96

Discusión

Las diferencias en las variables fisicoquímicas en las muestras evaluadas son debidas, principalmente, al efecto del cultivar. Los valores de pH, acidez titulable y materia seca concuerdan con los hallazgos de Barrera, Arrazola y Cayón (2010) quienes evaluaron en plátano hartón (*Musa AAB Simmonds*) cinco estados de maduración y encontraron valores de pH entre 5 y 6.3) y acidez titulable entre 0.1 y 0.41 g de ácido málico/100g pulpa, siendo similares a los del presente estudio. De acuerdo con los valores medios de luminosidad (L^*), saturación (C^*), y tono (h°), las muestras evaluadas se pueden clasificar colorimétricamente en la zona de los amarillos tenues a amarillos intensos, la variación de color que se observa en los materiales estudiados probablemente es debida a las diferencias en el contenido de carotenoides, compuestos fenólicos y el nivel de actividad de la enzima polifenoloxidasas presentes en los materiales.

Bal et al. (2011) encontraron resultados similares a los hallados en este estudio utilizando modelos cinéticos de orden cero (0) en los cambios de las coordenadas colorimétricas a^* , h° y ΔE y, orden uno (1) para los atributos de color L^* , b^* y C^* durante la deshidratación de *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench (citado como *H. esculentus*) (Malvaceae) y *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C. Wendl. (Poaceae). Con base en estudios realizados por Chong, Cheng y Noor (2011) quienes afirman que la enzima polifenoloxidasas actúa sobre los compuestos fenólicos, los cuales al hidrolizarse a orto-difenol se oxidan a o-quinonas y orto-quinonas, y éstas, a su vez, se polimerizan a compuestos pardos como la melanina, es posible asumir que en este estudio el cambio de color superficial de pulpa, se debe principalmente a la acción de la enzima polifenoloxidasas. Otra reacción responsable de la modificación del color superficial en la pulpa de plátano es consecuencia de los procesos de isomeración y oxidación de los carotenoides, reacciones químicas que degradan estos pigmentos (Rodríguez, 2001). Estas reacciones pueden modificar las propiedades ópticas en las muestras de estudio, al reducir el nivel de la refracción de la luz, desencadenando una mayor absorción del espectro visible, aumentando así las zonas pardas en la pulpa de plátano. Las accesiones Benedetta, Cachaco espermio, Cachaco sin bellota, Dominico mocho, Dominico mutante, GAEP-2, Hartón tigre, MaiaMaoli Risaralda, Mbindi, Híbrido saba-2, Pompo-comino Risaralda, Blanco Sardy y Hartón Macho, presentaron menor cambio de color en el tiempo de evaluación con respecto a la constante de velocidad cinética k , en la coordenada colorimétrica L^* ($0.003-0.005 \text{ min}^{-1}$)

(Cuadro 2), por tanto se consideran materiales promisorios para consumo en fresco o procesos agroindustriales, por los bajos valores de pardeamiento en pulpa. No obstante, en futuros estudios se sugiere cuantificar la concentración de compuestos fenólicos, carotenos y determinar el nivel de actividad de la enzima PPOs.

Conclusiones

La variación de las coordenadas colorimétricas a^* , h° , y ΔE se ajustaron a una cinética de orden cero (0), y L^* , b^* y C^* se pueden describir con una cinética de orden uno (1). El análisis cinético de las pulpas de plátano evaluadas evidencia que las accesiones Benedetta, Cachaco espermio, Cachaco sin bellota, Dominico mocho, Dominico mutante, GAEP-2, Hartón tigre, Maia Maoli Risaralda, Mbindi, Híbrido saba-2, Pompo-comino Risaralda, Blanco Sardy y Hartón Macho son materiales promisorios para consumo en fresco o procesamiento agroindustrial, ya que presentaron los menores valores de pardeamiento en pulpa.

Se sugiere continuar con la investigación validando estos resultados con la determinación de la actividad enzimática de la polifenoloxidasas presente en las accesiones de plátano evaluadas en el presente estudio.

Agradecimientos

Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), al Sistema de Bancos de Germoplasma de la Nación para la Alimentación y la Agricultura (SBGNAA) de Colombia. A Colciencias-Agrosavia por la financiación del estudio. Al laboratorio de Raíces, Tubérculos y Bananas del CIAT y al Dr. Takumasa Kondo por la revisión del manuscrito.

Referencias

- Arvanitoyannis, I.S. y Mavromatis, A. 2009. Bananas cultivars, cultivation practices, and physicochemical properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 49(2):113-135. DOI: 10.1080/10408390701764344.
- Bal, M.L.; Kar, A.; Satya, S. y Naik, S.N. 2011. Kinetics of colour change of bamboo shoot slices during microwave drying. *International Journal of Food Science and Technology* 46(4):827-833. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2011.02553
- Barrera, V.J.L.; Arrazola, P.G.S. y Cayón, S.D.G. 2010. Caracterización fisicoquímica y fisiológica del proceso de maduración de plátano Hartón (*Musa AAB Simmonds*) en dos sistemas de producción. *Acta Agronómica* 59 (1):20-29. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo>. DOI:169916223003.

- Belalcázar, C.S.L. 1991. El cultivo del plátano (*Musa AAB Simmonds*) en el trópico, Instituto Colombiano Agropecuario ICA, Armenia, Colombia, centro satélite plátano y banano, sección Frutícolas-Plátano y Banano. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12434>. DOI: XF2016040780.
- Chong, L.C.; Cheng, L.H. y Aziz, A. N. 2011. Properties of polyphenol oxidase obtained from *Musa acuminata* and *M. balbisiana* Colla cv. Pisang Awak pulp and peel. *CyTA-Journal of Food* 9(1):25-30. DOI:10.1080/19476330903503379.
- Dadzie, B.K. y Orchard, J.E. 1997. Evaluación rutinaria postcosecha de híbridos de bananos y plátano: criterios y métodos. Guías técnicas INIBAP. Disponible en: https://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/IN980035_es.pdf.
- Dzomeku, B.M.; Osei, O.M.; Ankomah, A.A.; Akyeampong, E. y Darkey, S.K. 2006. Sensory evaluation of some cooking bananas in Ghana. *Journal of Applied Sciences* 6(4):835-837. DOI: 10.3923/jas.2006.835.837
- FAO. 2014. La Economía mundial del plátano 2000 al 2013. Tomado de <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/S>
- García, C.L.; Giraldo, G.A.; Hurtado, H. y Mendivil, C.O. 2006. Cinética enzimática de la polifenoloxidasas del banano gros michel en diferentes estados de maduración. *Vitae* 13(2):13-19. DOI:169813258002.
- Hernandez, M. S.; Barrera, J.; Martínez, O. y Fernández, J. P. 2009. Postharvest quality of arazá fruit during low temperature storage. *LWT-Food Science and Technology* 42(4):879-884. DOI: 10.1016/j.lwt.2008.11.009.
- Ji, W.; Koutsidis, G.; Luo, R.; Hutchings, J.; Akhtar, M.; Megias, F. y Butterworth, M. 2013. A digital imaging method for measuring banana ripeness. *Color Research and Application* 38(5), 364-374. DOI:10.1002/col.21741.
- Martínez, R.I.; Pagán, J.; Garza, S. e Ibarz, A. 2010. Pardeamiento de zumos clarificados de limón tratados a altas temperaturas. *Scientia Agropecuaria* 1(1):7-20. DOI: 10.17268/sci.agropecu.2010.01.01.
- Quinde, Z.; Ullrich, S.E. y Baik, B.K. 2004. Genotypic variation in color and discoloration potential of barley-based food products. *Cereal Chemistry* 81(6):752-758. DOI: 10.1094/CCHEM.2004.81.6.752
- Ramírez, N.J.S. y Rodríguez, S.A. 2012. Characterization of Colombian quesoillo cheese by spectrophotometry. *Vitae* 19(2):178-185. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-40042012000200004&script=sci_abstract&tlng=es.
- Rodríguez, A.B.D. 2001. A guide to carotenoid analysis in foods. *Research ILSI Human Nutrition Institute* 9(1):25-30. Disponible en: <http://beauty-review.nl/wp-content/uploads/2014/11/A-guide-to-carotenoid-analysis-in-foods.pdf>.
- Salvador, A.; Sanz, T. y Fiszman, S.M. 2007. Changes in colour and texture and their relationship with eating quality during storage of two different dessert bananas. *Postharvest Biology and Technology* 43(3):319-325. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2006.10.007.
- Werner, S., Machado, C.S.R., Poncio, A.P., y Ferreira, L. 2009. Utilização de imagen digitais para avaliação da coloração de banana prata submetida a diferentes tratamentospós-colheita. *Londrina* 30(2):381-388. DOI: 10.5433/1679-0359.2009v3On2p381.