

Carotenoides, clorofilas y pectinas durante la maduración de variedades de guayaba (*Psidium guajava* L.) de Santander, Colombia

Carotenoids, chlorophylls and pectins during ripening of guava (*Psidium guajava* L.) from Santander, Colombia



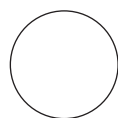
JACQUELINE GUAVITA-VARGAS¹
LIZETH M. AVELLANEDA-TORRES^{1, 2}
MARÍA ELENA SOLARTE^{1, 3}
LUZ MARINA MELGAREJO^{1, 4}

Fruto de guayaba 'Ráquira Blanca'.

Foto: M.E. Solarte

RESUMEN

Se evaluó el contenido de carotenoides, clorofila y pectinas en frutos de guayaba *Psidium guajava* L. en tres localidades del departamento de Santander, Colombia (Barbosa, Puente Nacional y Vélez), en cuatro variedades (Regional Blanca, Ráquira Blanca, Guavatá Victoria y Regional Roja) y en cuatro estados de madurez (verde, madurez fisiológica, pintón y maduro). Los contenidos de carotenoides y clorofilas totales fueron determinados por espectrofotometría en endocarpo y exocarpo. Los contenidos de pectina se determinaron por el método gravimétrico. Los resultados fueron estadísticamente significativos ($P \leq 0,05$), obteniendo los mayores contenidos de carotenoides en la variedad Regional Roja (166,3 mg/100 g, estado pintón, en Barbosa), de clorofila en Guavatá Victoria (39,87 mg/100 g, estado verde, en Vélez) y de pectinas en Regional Blanca (1,79% p/p, estado madurez fisiológica, en Puente Nacional). Las variedades de pulpa blanca (Regional Blanca, Ráquira Blanca y Guavatá Victoria) presentaron mayores contenidos de carotenoides en el exocarpo (11,19 mg/100 g), a diferencia de la variedad Regional Roja cuyo contenido fue mayor en endocarpo (13,06 mg/100 g). Los análisis de componentes principales (ACP) y análisis de conglomerado jerárquico, evidenciaron una relación directa entre carotenoides, clorofila y pectinas en las variedades de pulpa blanca (Regional Blanca, Ráquira Blanca y Guavatá Victoria); a diferencia de la relación inversa encontrada en la variedad Regional Roja.



Palabras clave adicionales: pigmentos, frutas, pulpa, exocarpo, endocarpo.

¹ Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia). ORCID Guavita-Vargas, J.: 0000-0002-0714-2306; ORCID Melgarejo, L.M.: 0000-0003-3148-1911

² Facultad de Ingeniería, Grupo de Investigación Tecnambiental, Universidad Libre de Colombia, Bogotá (Colombia). ORCID Avellaneda-Torres, L.M.: 0000-0002-8520-9123

³ Departamento de Biología, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto (Colombia). ORCID Solarte, M.E.: 0000-0001-5349-1374

⁴ Autor para correspondencia. lmelgarejom@unal.edu.co



ABSTRACT

We evaluated the contents of carotenoids, chlorophyll and pectin in guava fruit, *Psidium guajava* L., in three locations (Barbosa, Puente Nacional, and Vélez) in Santander Department, Colombia in four varieties (Regional Blanca, Raquira Blanca, Guavata Victoria, Regional Roja) for four stages of maturity (green, physiological maturity, semi-ripe, ripe). The total carotenoids and chlorophyll were determined with spectrophotometry, differentiating the endocarp, exocarp and pectins using the gravimetric method. The results were statistically significant ($P \leq 0.05$), obtaining the highest contents of carotenoids in the variety Regional Roja (166.3 mg/100 g, semi-ripe state in Barbosa), the highest chlorophyll in Guavata Victoria (39.87 mg/100 g, green state in Vélez) and the highest pectins in Regional Blanca (1.79% p/p, physiological maturity state, in Puente Nacional). The white fleshed varieties (Regional Blanca, Raquira Blanca and Guavata Victoria) had higher contents of carotenoids in the exocarp (11.19 mg/100 g), unlike the Regional Roja variety, which had a high content in the endocarp (13.06 mg/100 g). The principal component analysis (PCA) and cluster analysis showed a direct relationship between the carotenoids, chlorophyll and pectin in white-fleshed varieties, in contrast to the inverse relationship found in the Regional Roja variety.

Additional key words: pigments, fruits, pulp, exocarp, endocarp.

Fecha de recepción: 05-02-2018 Aprobado para publicación: 30-05-2018

INTRODUCCIÓN

La guayaba (*Psidium guajava* L.) es comercialmente cultivada en varios países tropicales y subtropicales del mundo. Colombia junto a otros países es productor del fruto, el cual es muy nutritivo y de buen sabor, caracterizado por un alto contenido de pectina, fibra dietaria, minerales, vitaminas principalmente la C, aminoácidos esenciales y con alto potencial antioxidante (Vasconcelos *et al.*, 2017); además, presenta diferentes características farmacológicas, y es bajo en calorías (Singh, 2011; González *et al.*, 2011). Es fácilmente disponible y nombrada como “manzana de trópicos” y “super fruta” por sus ricos valores nutracéuticos (Maji *et al.*, 2015).

En Colombia, la más amplia producción está localizada en la región noreste del País, región que produce tradicionalmente dos variedades, conocidas como “Regional Roja” (pulpa rosada) y “Regional Blanca” (pulpa blanca), que se consumen principalmente. A medida que la guayaba madura, el color de la piel (exocarpo) cambia de verde a verde claro o amarillo. La pulpa (endocarpo) de la fruta puede ser blanca, amarilla, rosada o roja, dependiendo de la variedad. Se puede consumir entera o cocinada y la mayor parte de la cosecha es procesada como jalea, sorbete, pasta o puré (Steinhaus *et al.*, 2008; González *et al.*, 2011).

Esta fruta también es rica en sustancias pécticas (García-Betanzos *et al.*, 2017), las cuales son utilizadas en

la industria alimentaria, farmacéutica, del papel, en preparación de películas biodegradables, en metalurgia, y como antioxidante sanguíneo, entre otras aplicaciones (Ferreira, 2007).

El presente estudio aporta a la evaluación de los contenidos de carotenoides, clorofila y pectinas en guayabas regionales de Colombia, que son consumidas tradicionalmente en el país y de las cuales es importante conocer sus componentes para aprovecharlos en alimento, salud y agroindustria; debido a esto, se abordan fuentes de variación como variedad vegetal, localidades de colecta, estados de madurez del fruto y tejidos del fruto (exocarpo y endocarpo). Por tal razón, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el contenido de carotenoides, clorofilas y pectinas en cuatro variedades regionales de guayaba durante la maduración del fruto, en tres localidades del departamento de Santander, Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron muestras de guayaba provenientes de tres localidades del departamento de Santander (Colombia): Barbosa ubicada a 1.570 msnm, 5°56'36" N y 73°36'46" W; Puente Nacional a 1.720 msnm, 5°57'04" N y 73°41'07" W; Vélez a 1.890 msnm, 5°57'03" N y 73°39'45" W. Se evaluaron tres variedades de pulpa

blanca: Regional Blanca, Ráquira Blanca y Guavatá Victoria, y una variedad de pulpa roja: Regional Roja. Se evaluaron en cuatro estados de madurez, teniendo en cuenta la edad (días después de la floración; ddf). Los frutos fueron recolectados de la parte media del dosel de los árboles ($n=4$) por variedad, así: verde, 90-120 ddf; madurez fisiológica, 121-140 ddf; pintón, 141-159 ddf; y maduro, 160-170 ddf (Solarte *et al.*, 2014). En cada uno de los estados se determinó en exocarpo (cáscara) y endocarpo (pulpa) los contenidos de clorofilas y carotenoides; mientras que pectinas se determinó sin diferenciar tejido vegetal.

La selección de los frutos a analizar se basó en el color del exocarpo, la firmeza del mismo, y las propiedades químicas como pH, sólidos solubles y acidez total titulable, de acuerdo a la metodología reportada por Cantillo *et al.* (2011). Se tuvieron en cuenta los criterios descritos anteriormente para la clasificación de los frutos, siguiendo específicamente las tablas de calidad reportadas por Solarte *et al.* (2010a). Las mediciones se realizaron por triplicado teniendo en cuenta todas las fuentes de variación (localidad, variedad, estado de madurez y tejido vegetal); sin embargo, por problemas de exceso de lluvias, plagas, enfermedades, aborto de flores y frutos, o por muy baja producción no se pudieron tomar algunas muestras, lo cual impidió realizar análisis adicionales para separar las medias por significancia estadística entre los estados de maduración, inherentes a cada variedad en cada localidad.

Determinación de pectinas

Se determinaron pectinas por el método gravimétrico con hexametafosfato de sodio (Ferreira, 2007), con las siguientes modificaciones: se tomaron tres frutos por estado de madurez, se pesaron 10 g y se agregaron 25 mL de solución (NaPO_3)₆ según las indicaciones de Ferreira (2007). Se ajustó el pH a 4,5 con HCl 10%v/v. El contenido de pectinas se expresó en % p/p.

Determinación de clorofila y carotenoides totales

Las determinaciones de clorofila y carotenoides totales se realizaron con base en lo descrito por Lichtenthaler (1987) y Melgarejo (2010). Las muestras fueron liofilizadas y posteriormente se pesaron 0,09 g de tejido vegetal para los respectivos análisis. El contenido de clorofilas y carotenoides totales se expresó de acuerdo con el porcentaje de peso seco en mg/100 g. Todos los reactivos fueron grado analítico Sigma.

Análisis estadístico

Se realizaron pruebas de normalidad y homocedasticidad, siguiendo el test Shapiro-Wilk y Bartlett (De la Garza *et al.*, 2013), respectivamente. Se realizó la prueba de Kruskal Wallis para evaluar el efecto de los factores variedad, localidad, estado de maduración y sus interacciones en los cambios del contenido de clorofilas, carotenoides y pectinas utilizando el programa R versión libre 2.10.0[®] 2009 (The R Foundation for Statistical Computing) aplicando pruebas como Kruskal y Wilcoxon). Se aplicaron herramientas de análisis multivariado de datos como el Análisis de Componentes Principales (ACP) para analizar las variables estudiadas y su correlación con los componentes (localidad, variedad, estado de maduración) determinados para este trabajo. Se realizó análisis de conglomerado jerárquico para el agrupamiento de los datos utilizando el programa Spad (2010) v. 7 con el método de WARD, que usa la variación de las distancias euclidianas de los datos de los componentes de ACP realizado anteriormente. Se identificaron grupos y se validaron y consolidaron con el método de K-means (De la Garza *et al.*, 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Kruskal Wallis mostró que hubo diferencias estadísticas significativas entre los factores principales: localidad, variedad, estados de maduración y la interacción entre estos (Tab. 1). Los mayores contenidos

Tabla 1. Valores de P. Prueba de Kruskal Wallis para los contenidos de clorofila, carotenoides y pectinas de guayaba según localidad de colecta, variedad y grado de madurez.

Fuente de variación	Clorofila		Carotenoides		Pectinas	
	df	P-valor	df	P-valor	df	P-valor
Variedad	2	***	3	***	3	***
Madurez	3	***	3	***	3	***
Localidad	2	***	2	***	2	***
Variedad	3	***	3	***	3	***
Localidad	2	***	2	***	1	***
Madurez	3	***	3	***	2	***
Localidad*madurez	5	***	5	***	2	***
Localidad*variedad	5	***	9	***	5	***
Variedad*madurez	5	***	5	***	5	***

Valores de $P \leq 0,05$; $n=3$; df: grados de libertad.

de pectina de las guayabas regionales colombianas se presentaron en la localidad de Vélez, en estado de madurez fisiológica (1,69% p/p en 'Regional Blanca' y 1,72% p/p en 'Regional Roja'), y en Puente Nacional para el mismo estado de madurez (1,79% p/p en 'Regional Blanca') (Tab. 2). Estos resultados fueron mayores con respecto a lo reportado en otros estudios

como la guayaba cv. Banarsi Surkha (Jain *et al.*, 2003), la guayaba de Brasil (0,75-0,92% p/p) (Fischer *et al.*, 2012) y la guayaba 'Regional Roja' de Puente Nacional (1,52% en puré) (Osorio *et al.*, 2011). Por otro lado, en la variedad Regional Blanca proveniente de Barbosa aumentó el contenido de pectina durante la maduración del fruto, a diferencia de las variedades

Tabla 2. Contenidos de pectinas, carotenoides totales y clorofila total en variedades de guayaba, en cuatro estados de maduración, proveniente de tres localidades de Colombia.

Localidad	Variedad	Estado de maduración	Clorofila total (mg/100 g)	Carotenoides totales (mg/100 g)	Pectinas (%p/p)
Barbosa 1.570 msnm	Regional Blanca	Verde	56,67±1,13	15,17±0,27	0,86±0,03
		Madurez fisiológica	39,27±0,33	10,40±0,14	ND
		Pintón	25,34±0,25	6,990±0,18	0,90±0,01
		Maduro	22,01±0,52	24,52±0,53	1,06±0,01
	Ráquira Blanca	Verde	33,60±0,48	10,29±0,10	1,03±0,01
		Madurez fisiológica	29,31±0,62	8,398±0,24	0,78±0,01
		Pintón	40,29±0,46	7,495±0,23	1,16±0,01
		Maduro	11,32±0,21	4,988±0,20	0,81±0,03
	Roja	Verde	58,12±0,25	19,49±0,10	1,53±0,01
		Madurez fisiológica	141,1±2,94	26,81±0,49	1,29±0,01
		Pintón	166,3±0,99	9,119±0,12	1,04±0,02
		Maduro	23,32±0,63	23,71±0,26	0,88±0,01
	Guavatá Victoria	Verde	100,3±0,73	15,62±0,11	ND
		Madurez fisiológica	40,78±0,43	4,743±0,08	0,88±0,01
		Pintón	46,14±0,17	10,50±0,08	0,86±0,02
		Maduro	59,42±0,42	4,006±0,13	1,47±0,02
Puente Nacional 1.720 msnm	Blanca	Verde	84,85±1,18	15,89±0,26	0,51±0,009
		Madurez fisiológica	83,4±0,6	17,38±0,27	1,79±0,005
		Pintón	74,29±1,15	13,93±0,18	1,21±0,002
		Maduro	12,99±0,16	8,071±0,23	1,13±0,009
	Ráquira Blanca	Verde	68,78±0,64	9,630±0,33	ND
		Madurez fisiológica	57,89±0,26	11,66±0,23	0,89±0,01
		Pintón	89,44±0,76	12,83±0,26	ND
		Maduro	23,18±0,39	6,843±0,09	0,70±0,02
	Roja	Verde	84,92±0,10	25,20±0,45	1,05±0,04
		Madurez fisiológica	42,19±0,63	16,31±0,29	1,04±0,03
		Pintón	72,93±1,67	39,44±1,78	0,99±0,01
		Maduro	20,46±0,33	26,87±0,88	0,88±0,02
	Guavatá Victoria	Verde	66,32±0,59	28,55±0,38	ND
		Madurez fisiológica	107,8±0,88	20,15±0,36	0,89±0,01
		Pintón	66,96±0,22	13,52±0,14	0,68±0,03
		Maduro	21,36±0,20	6,883±0,15	0,51±0,007

Continuación Tabla 2.

Localidad	Variiedad	Estado de maduración	Clorofila total (mg/100 g)	Carotenoides totales (mg/100 g)	Pectinas (%p/p)
Vélez 1.890 msnm	Blanca	Verde	70,13±0,40	19,82±0,04	1,36±0,006
		Madurez fisiológica	120,1±0,94	24,82±0,20	1,69±0,005
		Pintón	27,59±0,18	10,10±0,15	0,97±0,03
		Maduro	31,70±0,58	11,69±0,31	0,85±0,01
	Ráquira Blanca	Verde	132,6±0,60	27,63±0,17	0,96±0,02
		Madurez fisiológica	125,8±0,47	18,34±0,34	1,51±0,009
		Pintón	73,23±0,27	15,31±0,15	1,11±0,01
		Maduro	53,65±0,19	10,91±0,12	1,30±0,03
	Roja	Verde	126,3±0,20	6,855±0,23	1,18±0,003
		Madurez fisiológica	90,78±1,0	22,86±0,23	1,72±0,008
		Pintón	85,75±0,23	26,69±0,05	1,24±0,03
		Maduro	28,19±0,20	38,72±0,67	0,73±0,01
	Guavatá Victoria	Verde	161,5±0,88	39,87±0,95	1,19±0,002
		Madurez fisiológica	ND	ND	1,20 ± 0,01
		Pintón	43,08±0,15	12,72±0,07	0,56±0,007
		Maduro	36,64±0,43	14,92±0,04	0,84±0,02

n=3; ND: no detectado.

Guavatá Victoria, Ráquira Blanca y Regional Roja de Puente Nacional y de Barbosa solamente en 'Regional Roja' (Tab. 2); lo que posiblemente se relaciona con la conversión enzimática entre las sustancias pécticas que pueden ser las responsables del incremento o disminución de diferentes fracciones pécticas (Das y Majumder, 2010). El aumento en el contenido de pectina durante el período de madurez fue reportado para guayaba 'Kampuchea' de Malasia, sugiriendo que ésta se sintetiza continuamente a lo largo del desarrollo del fruto (Ali *et al.*, 2004).

El contenido de carotenoides totales (exocarpo + endocarpo) fue mayor en las variedades Guavatá Victoria y Regional Roja (Tab. 2), los cuales fueron superiores ($P \leq 0,05$) a los reportados para guayaba 'Red guava' y 'Yellow guava' cultivadas en Panamá (Murillo *et al.*, 2010) y a los contenidos obtenidos por Stinco *et al.* (2014). Sin embargo, para variedades como Guavatá Victoria y Regional Blanca, utilizando una técnica diferente no se encontraron carotenoides en una cantidad detectable (Sinuco *et al.*, 2010). Se ha reportado que la presencia de carotenoides y clorofilas caracterizan principalmente el color de la guayaba (González *et al.*, 2011) y que el color de la cáscara y pulpa de la fruta varía según el tipo y la cantidad de pigmentos (Flores *et al.*, 2015), por lo que la USDA

destacó el contenido de licopeno en 5,2 mg por 100 g de guayaba fresca (Singh, 2011). En guayaba roja de Brasil se reportó 330 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ (β -caroteno) y 6.150 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ (licopeno) en peso fresco (Vargas-Murga *et al.*, 2016). En 'Ráquira Blanca' de las localidades Barbosa y Vélez, y en Guavatá Victoria de Puente Nacional los contenidos de carotenoides totales presentaron tendencia a disminuir con la madurez del fruto (Tab. 2), lo que posiblemente esté relacionado con el color característico de estas variedades de pulpa blanca (Sinuco *et al.*, 2010). A diferencia de lo que ocurre con variedades colombianas como la 'Regional Roja' y la 'Palmira ICA-1', que aumentaron el contenido de carotenoides a medida avanzaron en los estados de maduración, específicamente en licopeno para 'Regional Roja' (7,30 mg kg^{-1} de fruta, estado I; 10,19 mg kg^{-1} de fruta, estado II; y 18,25 mg kg^{-1} de fruta, estado III) y 'Palmira ICA-1' (15,27 mg kg^{-1} de fruta, estado I; 23,18 mg kg^{-1} de fruta, estado II; y 28,07 mg kg^{-1} de fruta, estado III) (González *et al.*, 2011).

El contenido de clorofila total en fruto fue mayor en estado pintón para la variedad Regional Roja colectada en Barbosa (Tab. 2), valor mayor al obtenido por Stinco *et al.* (2014) con 40,67 $\mu\text{g g}^{-1}$. Por otra parte, la variedad Regional Blanca de las localidades Barbosa y Puente Nacional, y las variedades Guavatá Victoria,

Ráquira Blanca y Regional Roja de la localidad de Vélez, presentaron tendencia a disminuir el contenido de clorofila total con la madurez, por lo que al final de la maduración disminuyó la presencia de clorofilas, coincidiendo esta tendencia con lo encontrado para la variedad vietnamesa (Fischer *et al.*, 2012). No obstante, se ha reportado en guayaba 'Palмира ICA-1' en estado maduro, presencia de clorofilas lo que sugiere que puede haber retención de clorofilas, siendo común encontrarlas en guayabas de cáscara verde y pulpa intensa rosada (González *et al.*, 2011).

En la figura 1 se observa que las variedades de pulpa blanca Guavatá Victoria, Ráquira Blanca y Regional Blanca presentaron mayor contenido de carotenoides totales en el exocarpo (cáscara) con respecto al endocarpo (pulpa), lo que coincide con mayores contenidos de carotenoides en el exocarpo de las frutas (Hulme, 1970). Sin embargo, la variedad Regional Roja presentó un comportamiento contrario, lo que puede estar relacionado con el color rojo de la pulpa, donde los carotenoides que contribuyen a su color aumentan durante la maduración de la guayaba, siendo el licopeno el principal pigmento carotenoides en guayabas de pulpa roja, además de la presencia de β -caroteno (Singh, 2011). Algunos autores reportan que los colores rojo y amarillo en cáscara y pulpa de frutas son debidos a la presencia de carotenoides (Witsutiamonkul *et al.*, 2015).

En cuanto al contenido de clorofila total fue mayor en el exocarpo con respecto al endocarpo en todas las

variedades de pulpa blanca (Fig. 1), probablemente por la composición del exocarpo que está formado por células parenquimáticas que contienen cloroplastos y pigmentos (Flores-Vindas, 1999); a diferencia del resultado observado en la variedad Regional Roja con un contenido similar en los dos tejidos, lo que muestra un comportamiento distinto a las otras tres variedades de pulpa blanca. Las diferencias de los contenidos de clorofilas en el endocarpo y exocarpo de las variedades de guayaba evaluadas en el presente trabajo podrían estar relacionadas con las características de color descritas. Se ha reportado que en las variedades Regional Roja y Regional Blanca hay diferencias apreciables en el tono tanto de la pulpa como de la cáscara lo que podría ser un parámetro útil para la diferencia rápida entre las variedades de guayaba (González *et al.*, 2011). Por otra parte, se observó relación directa entre carotenoides totales, clorofila total y pectinas (Fig. 2), donde se evidencia mayor relación entre pectinas y clorofila total (0,43), lo que posiblemente esté asociado a la clorofila degradada por la acción de enzimas como la clorofilasa, clorofila oxidasa y peroxidasa. Los cambios en la pigmentación facilitan la discriminación visual de las frutas en los estados de maduración, y los cambios de textura son cruciales ya que afectan la vida útil de las frutas donde el contenido de pectina disminuye a lo largo de la maduración (Jain *et al.*, 2003; Matile y Hörtensteiner, 1999). Igualmente, en los estados de madurez verde y madurez fisiológica hay mayores contenidos de pectinas y clorofilas, lo cual coincide con el comportamiento y contenidos de estas dos variables en estados de menor madurez

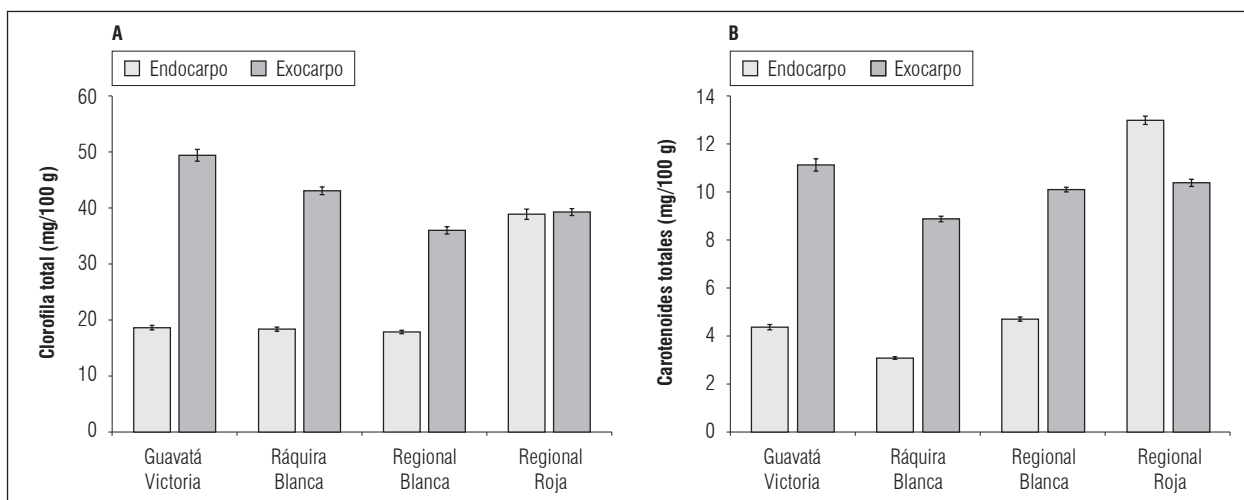


Figura 1. Clorofila total (A) y carotenoides totales (B) en endocarpo y exocarpo para variedades de guayaba. Promedio de tres localidades (Puente Nacional, Barbosa y Vélez) y cuatro estados de maduración (verde, madurez fisiológica, pintón y maduro). $n=3$ para cada factor. Las barras de error indican error estándar.

de las frutas, como anteriormente se ha mencionado. La variedad Regional Roja es la que presenta mayor contenido de carotenoides respecto a las demás, lo que posiblemente esté relacionado con el color de su pulpa. La maduración de los frutos de guayaba se caracteriza por el ablandamiento de la pulpa, el cual está asociado a modificaciones químicas estructurales de la pectina (Abu-Goukh y Bashir, 2003). Dichas modificaciones se reporta ocurren durante la maduración de las frutas (Gwanpua *et al.*, 2014), el cual está acompañado de la solubilización de pectina y la acción de enzimas como pectinesterasa, poligalacturonasa y pectato liasas (Abu-Goukh y Bashir, 2003). El contenido total de pectina, generalmente, incrementa al inicio y luego disminuye en estado sobremaduro (Singh, 2011), por lo que opcionalmente, la madurez de muchos frutos puede medirse indirectamente con la firmeza del fruto, un índice inversamente proporcional a la madurez. Así que, la firmeza puede usarse como un índice de madurez en la clasificación y selección de las frutas (Cheng-Chang y Ching-Hua, 2014). Además, se ha reportado que existe una alta correlación entre el incremento de la actividad enzimática y la pérdida de firmeza en la pulpa de las frutas (Abu-Goukh y Bashir, 2003) y específicamente la firmeza se

ha asociado con la cantidad de pectina presente (Lima *et al.*, 2010).

En la figura 2 también se observa que los frutos de la localidad de Vélez en su mayoría presentaron mayor contenido de clorofilas, carotenoides y pectinas, comparado con las demás localidades. En Vélez, la producción es tardía y el crecimiento del fruto hasta madurez fisiológica demora más tiempo (Solarte *et al.*, 2010b), lo que posiblemente esté evidenciando mejor adaptabilidad de la fruta a ésta región; porque tanto las épocas climáticas como las condiciones ambientales pueden tener considerable influencia sobre la maduración y calidad de la guayaba, adaptándose a diferentes condiciones de clima y suelo (Fischer *et al.*, 2012).

De acuerdo con los resultados y teniendo en cuenta la diferencia encontrada entre los contenidos de carotenoides y clorofilas para la variedad Regional Roja respecto a las demás variedades de pulpa blanca, se analizó por separado la variedad Regional Roja (Fig. 3). Se encontró una relación inversa entre el contenido de carotenoides y clorofilas, lo que sugiere que durante la maduración la cantidad de clorofila en los tejidos de la fruta disminuye rápidamente y la cantidad de carotenoides aumenta (Ayour *et al.*, 2016). Las clorofilas y carotenoides son sintetizados y acumulados en organelos especializados (cloroplastos y cromoplastos, respectivamente) (Matile y Hörtensteiner, 1999; Delgado-Pelayo *et al.*, 2014). El cambio causado por la síntesis de carotenoides y la degradación de clorofilas es el primer signo observable de maduración (Ayour *et al.*, 2016). El análisis de conglomerado jerárquico de los datos obtenidos para la variedad Regional Roja mostró tres grupos según los contenidos de carotenoides totales, clorofila total y pectinas (Fig. 4), teniendo en cuenta la localidad, la variedad y el estado de maduración como fuentes de variación. Así: el clúster tres indicó mayor contenido de carotenoides totales, en su mayoría muestras en estado maduro, de la localidad de Puente Nacional; el clúster dos indicó mayor contenido de clorofila total; y el clúster uno indicó mayor contenido de pectina, en su mayoría muestras en estado verde o madurez fisiológica de las localidades de Barbosa y Vélez. Dichos resultados pueden estar relacionados con el desarrollo del color característico de la fruta, lo cual ocurre una vez se alcanza la etapa de madurez fisiológica (García-Betanzos *et al.*, 2017); o por factores climáticos como la temperatura, con valores registrados de temperaturas máximas en Puente Nacional más altos que en Barbosa y Vélez (Solarte *et al.*, 2010c). Por tal razón, es probable que la

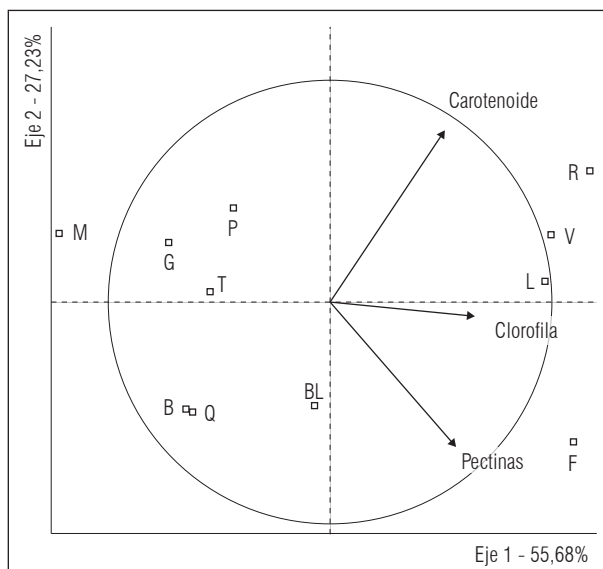


Figura 2. Análisis de componentes principales con gráfico biplot de carotenoides totales, clorofila total y pectinas en variedades de guayaba por localidad y estado de madurez. Localidades: Puente Nacional (P), Barbosa (B) y Vélez (L). Variedades: Regional Blanca (BL), Ráquira Blanca (Q), Guavatá Victoria (G) y Regional Roja (R). Estados de madurez: Verde (V), Madurez fisiológica (F), Pintón (T) y Maduro (M).

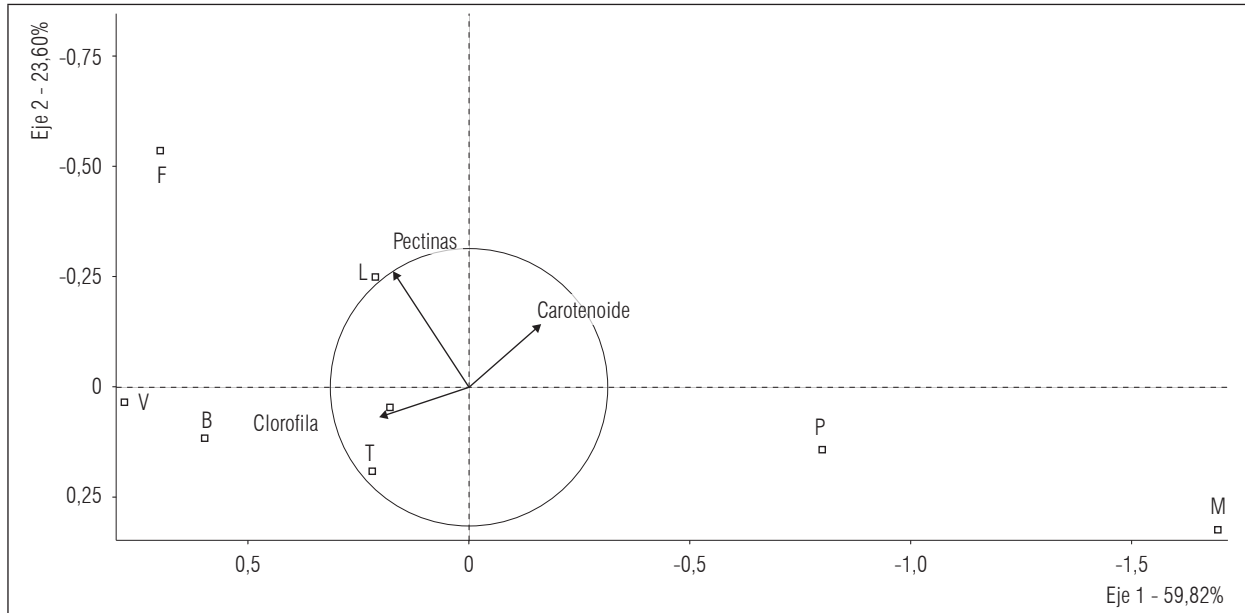


Figura 3. Análisis de componentes principales con gráfico biplot de carotenoides totales, clorofila y pectinas de la variedad Regional Roja en relación con localidades y estado de madurez. Puente Nacional (P), Barbosa (B), Vélez (L); Verde (V), Madurez fisiológica (F), Pintón (T), Maduro (M).

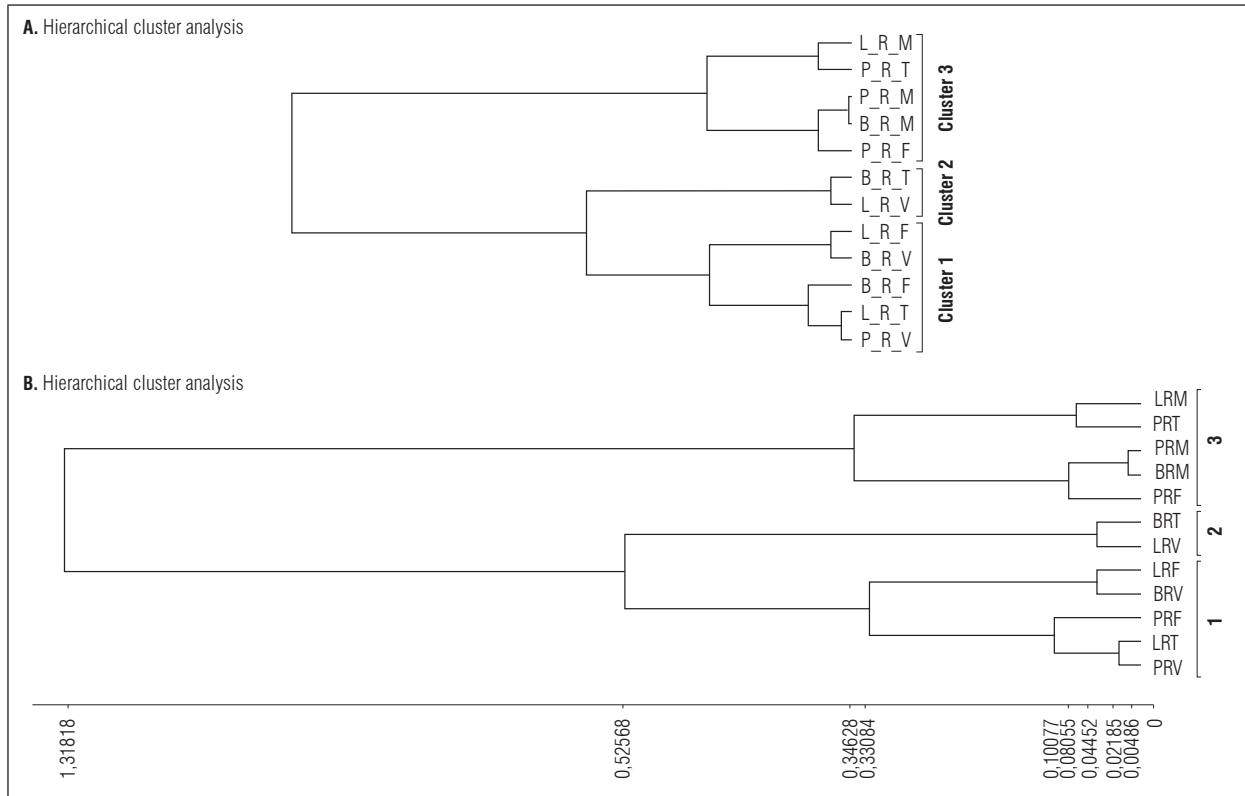


Figura 4. Dendrograma obtenido mediante el análisis de conglomerado jerárquico (distancia euclidiana, consolidado por el método K-means) de carotenoides totales, clorofila y pectinas en la variedad Regional Roja (R) según localidad [Puente Nacional (P), Barbosa (B), Vélez (L)] y estado de madurez [(Verde (V), Madurez fisiológica (F), Pintón (T), Maduro (M)].

temperatura sea el factor que más influya en la composición de carotenoides al interactuar con el ambiente, específicamente por la diferencia de temperaturas entre cada localidad. Se ha reportado que en frutos de camu-camu (*Myrciaria dubia*) la mayor temperatura y exposición a la luz son los principales factores responsables del alto contenido de carotenoides (Zanatta y Mercadante, 2014). Además, la producción de carotenoides en frutas también depende del grado de maduración (Becker *et al.*, 2015).

CONCLUSIONES

El mayor contenido significativo de pectina se presentó en las variedades Regional Blanca y Regional Roja de Puente Nacional y Vélez, respectivamente, en la etapa de madurez fisiológica.

Se encontró relación directa entre el contenido de carotenoides, clorofila y pectinas en todas las variedades de pulpa blanca (Regional Blanca, Ráquira Blanca y Guavatá Victoria). La variedad Regional Roja presentó relación inversa entre el contenido de carotenoides y el contenido de pectinas y clorofila.

La variedad Regional Roja presentó los mayores contenidos de carotenoides totales principalmente en la localidad de Puente Nacional, y de clorofila y pectinas en Barbosa y Vélez; datos que pueden ser aprovechados y orientados en actividades productivas para el desarrollo agroindustrial de la guayaba en Colombia.

AGRADECIMIENTOS

La financiación de la investigación fue dada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (contrato 094-1/06 "Caracterización ecofisiológica de variedades de guayaba por función de uso"), Universidad Nacional de Colombia, Asofruco, Corpoica CIMPA, y Comestibles el Éxito. Los autores agradecen el soporte financiero al trabajo de grado de Jacqueline Guavita-Vargas a través del proyecto en mención.

Conflicto de intereses: el manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaran no tener algún conflicto de interés que coloquen en riesgo la validez de los resultados aquí presentados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abu-Goukh, A. y H. Bashir. 2003. Changes in pectic enzymes and cellulase activity during guava fruit ripening. *Food Chem.* 83, 213-218. Doi: 10.1016/S0308-8146(03)00067-0
- Ali, Z.M., L. Chin y H. Lazan. 2004. A comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits. *Plant Sci.* 167, 317-327. Doi: 10.1016/j.plantsci.2004.03.030
- Ayour, J., M. Sagar, M. Najib, M. Taourirte y M. Benichou. 2016. Evolution of pigments and their relationship with skin color based on ripening in fruits of different Moroccan genotypes of apricots (*Prunus armeniaca* L.). *Sci. Hortic.* 207, 168-175. Doi: 10.1016/j.scienta.2016.05.027
- Becker, P., M. Sganzerla, A. Jacques, M. Teixeira y R. Zambiasi. 2015. Carotenoids, tocopherols and ascorbic acid content in yellow passion fruit (*Passiflora edulis*) grown under different cultivation systems. *Food Sci. Technol.* 64, 259-263. Doi: 10.1016/j.lwt.2015.05.031
- Cantillo, J., D.C. Sinuco, M.E. Solarte y L.M. Melgarejo. 2011. Estudio comparativo de los compuestos volátiles de tres variedades de guayaba blanca (*Psidium guajava* L.) durante su maduración. *Rev. Colomb. Quím.* 40, 79-90.
- Cheng-Chang, L. y T. Ching-Hua. 2014. Assessing guava maturity by statistical analyses of dropped fruit impact responses. *Postharvest Biol. Technol.* 95, 20-27. Doi: 10.1016/j.postharvbio.2014.03.013
- Das, A. y K. Majumder. 2010. Fractional changes of pectic polysaccharides in different tissue zones of developing guava (*Psidium guajava* L.) fruits. *Sci. Hortic.* 125, 406-410. Doi: 10.1016/j.scienta.2010.04.041
- De la Garza, J., B. Morales y B. González. 2013. Análisis estadístico multivariante. Un enfoque teórico y práctico. Mc Graw Hill, México, DE.
- Delgado-Pelayo, R., L. Gallardo-Guerrero y D. Hornero-Méndez. 2014. Chlorophyll and carotenoid pigments in the peel and flesh of commercial apple fruit varieties. *Food Res. Int.* 65, 272-281. Doi: 10.1016/j.foodres.2014.03.025
- Ferreira, S. 2007. Pectinas: aislamiento, caracterización y producción a partir de frutas tropicales y de los residuos de su procesamiento industrial. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Fischer, G., L.M. Melgarejo y D. Miranda. 2012. Guayaba (*Psidium guajava* L.). pp. 526-549. En: Fischer, G. (ed.). Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Producciones, Bogotá, Colombia.
- Flores, G., S. Wu, A. Negrin y E. Kennelly. 2015. Chemical composition and antioxidant activity of seven cultivars

- of guava (*Psidium guajava* L.) fruits. *Food Chem.* 170, 327-335. Doi: 10.1016/j.foodchem.2014.08.076
- Flores-Vindas, E. 1999. La planta: estructura y función. 3a ed. Asociación de Editoriales, Cartago, Costa Rica.
- García-Betanzos, C., H. Hernández-Sánchez, T. Bernal-Couoh, D. Quintanar-Guerrero y M. Zambraño-Zaragoza. 2017. Physicochemical, total phenols and pectin methylesterase changes on quality maintenance on guava fruit (*Psidium guajava* L.) coated with candeuba wax solid lipid nanoparticles-xanthan gum. *Food Res. Int.* 101, 218-227. Doi: 10.1016/j.foodres.2017.08.065
- González, I.A., C. Osorio, J. Meléndez-Martínez, M.L. González-Miret y F.J. Heredia. 2011. Application of tristimulus colorimetry to evaluate colour changes during ripening of Colombian guava (*Psidium guajava* L.) varieties with different carotenoid pattern. *Int. J. Food Sci. Technol.* 46, 840-848. Doi: 10.1111/j.1365-2621.2011.02569.x
- Gwanpua, S., S. Van Buggenhout, B. Verlinden, S. Christiaens, A. Shpigelman, V. Vincent, Z. Jamsazzadeh, B. Nicolai, M. Hendrickx y A. Geeraerd. 2014. Pectin modifications and the role of pectin-degrading enzymes during postharvest softening of Jonagold apples. *Food Chem.* 158, 283-291. Doi: 10.1016/j.foodchem.2014.02.138
- Hulme, A. 1970. The biochemistry of fruits and their products. Academic Press, London, UK.
- Jain, N., K. Dhawan, S. Malhotra y R. Singh. 2003. Biochemistry of fruit ripening of guava (*Psidium guajava* L.): Compositional and enzymatic changes. *Plant Foods Hum. Nutr.* 58, 309-315.
- Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Meth. Enzymol.* 148, 350-382.
- Lima, S., E. Paiva., S. Andrade y J. Paixão. 2010. Fruit pectins-A suitable tool for screening gelling properties using infrared spectroscopy. *Food Hydrocoll.* 24, 1-7. Doi: 10.1016/j.foodhyd.2009.04.002
- Maji, S., B.C. Das y S.K. Sarkar. 2015. Efficiency of some chemicals on crop regulation of Sardar guava. *Sci. Hortic.* 188, 66-70. Doi: 10.1016/j.scienta.2015.03.015
- Matile, P. y S. Hörtensteiner. 1999. Chlorophyll degradation. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50, 67-95.
- Melgarejo, L.M. (ed.). 2010. Experimentos en fisiología vegetal. Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Murillo, E., A.J. Meléndez-Martínez y F. Portugal. 2010. Screening of vegetables and fruits from Panama for rich sources of lutein and zeaxanthin. *Food Chem.* 122, 167-172. Doi: 10.1016/j.foodchem.2010.02.034
- Osorio, C., D.P. Forero y J.G. Carriazo. 2011. Characterisation and performance assessment of guava (*Psidium guajava* L.) microencapsulates obtained by spray-drying. *Food Res. Int.* 44, 1174-1181. Doi: 10.1016/j.foodres.2010.09.007
- Singh, S.P. 2011. Guava (*Psidium guajava* L.). pp. 213-240. En: Yahía, E.M. (ed.). *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits.* Woodhead publishing Limited, Sawston, Cambridge, UK.
- Sinuco, D.C., M. Steinhaus, P. Schieberle y C. Osorio. 2010. Changes in odour-active compounds of two varieties of Colombian guava (*Psidium guajava* L.) during ripening. *Eur. Food Res. Technol.* 230, 859-864. Doi: 10.1007/s00217-010-1232-8
- Solarte, M.E., L.M. Melgarejo, O. Martínez, M.S. Hernández y J. P. Fernández-Trujillo. 2014. Fruit quality during ripening of Colombian guava (*Psidium guajava* L.) grown at different altitudes. *J. Food Agric. Environ.* 12, 669-675.
- Solarte, M.E., M.S. Hernández., A. Morales, J. Fernández-Trujillo y M. Melgarejo. 2010a. Caracterización fisiológica y bioquímica del fruto de guayaba durante la maduración. pp. 111-116. En: Morales, A.L. y L.M. Melgarejo (eds.). *Desarrollo de productos funcionales promisorios a partir de la guayaba (*Psidium guajava* L.) para el fortalecimiento de la cadena productiva.* Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Solarte, M.E., O. Insuasty y L.M. Melgarejo. 2010b. Calendario fenológico de la guayaba en la hoya del río Suárez. pp. 59-82. En: Morales, A.L. y L.M. Melgarejo (eds.). *Desarrollo de productos funcionales promisorios a partir de la guayaba (*Psidium guajava* L.) para el fortalecimiento de la cadena productiva.* Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Solarte, M.E., H.M. Romero y L.M. Melgarejo. 2010c. Caracterización ecofisiológica de la guayaba de la hoya del río Suárez. pp. 25-56. En: Morales, A.L. y L.M. Melgarejo (eds.). *Desarrollo de productos funcionales promisorios a partir de la guayaba (*Psidium guajava* L.) para el fortalecimiento de la cadena productiva.* Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Steinhaus, M., D. Sinuco, J. Polster, C. Osorio y P. Schieberle. 2008. Characterization of the aroma-active compounds in pink guava (*Psidium guajava* L.) by application of the aroma extract dilution analysis. *J. Agric. Food Chem.* 56, 4120-4127. Doi: 10.1021/jf8005245
- Stinco, C., A. Benítez-González, D. Hernanz, I. Vicario y A. Meléndez-Martínez. 2014. Development and validation of a rapid resolution liquid chromatography method for the screening of dietary plant isoprenoids: Carotenoids, tocopherols and chlorophylls. *J. Chromatogr. A.* 1370, 162-170. Doi: 10.1016/j.chroma.2014.10.044
- Vargas-Murga, L., V.V. De Rosso, A.Z. Mercadante y B. Olmedilla-Alonso. 2016. Fruits and vegetables in the Brazilian household budget survey (2008-2009):

- carotenoid content and assessment of individual carotenoid intake. *J. Food Compos. Anal.* 50, 88-96. Doi: 10.1016/j.jfca.2016.05.012
- Vasconcelos, A.G., A. Amorim, R.C. Dos Santos, J.M. Souza, L.K. De Souza, T. Araújo, L.A.D. Nicolau, L.L. Carvalho, P.E. Aquino, C.S. Martins, C.D. Ropke, P.M.G. Soares, S. Aparecida, S. Kuckelhaus, J.-V.R. Medeiros y J.R. Leite. 2017. Lycopene rich extract from red guava (*Psidium guajava* L.) displays anti-inflammatory and antioxidant profile by reducing suggestive hallmarks of acute inflammatory response in mice. *Food Res. Int.* 99, 959-968. Doi: 10.1016/j.foodres.2017.01.017
- Wisutiamonkul, A., S. Promdang, S. Ketsa y W. Van Doorn. 2015. Carotenoids in durian fruit pulp during growth and postharvest ripening. *Food Chem.* 180, 301-305. Doi: 10.1016/j.foodchem.2015.01.129
- Zanatta, C.F. y A.Z. Mercadante. 2007. Carotenoid composition from the Brazilian tropical fruit camu-camu (*Myrciaria dubia*). *Food Chem.* 101, 1526-1532. Doi: 10.1016/j.foodchem.2006.04.004