Transformación y Agroindustria

Artículo de investigación científica y tecnológica

Caracterización fisicoquímica de harina de residuos del fruto de chontaduro (*Bactris gasipaes* Kunth, Arecaceae) obtenida por secado convectivo

Physicochemical characterization of the peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth, Arecaceae) fruit skin residue flour obtained by convective drying

Caracterização físico-química de farinha de resíduos do fruto de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth, Arecaceae) obtida por secagem convectiva

Jader Martínez-Girón,[*1] Ximena Rodríguez-Rodríguez,[2] Lina X. Pinzón-Zárate,[3] Luis Eduardo Ordóñez-Santos[4]

[1] Docente, Universidad del Valle sede Palmira; Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Grupo de Investigación en Procesos Agroindustriales (GIPA). Palmira, Colombia. Correo: jadmartinezgir@unal.edu.co. orcid.org/0000-0003-4191-5445
[2] Profesional investigadora, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Facultad de Ingeniería y Administración, Grupo de Investigación en Procesos Agroindustriales (GIPA). Palmira, Colombia. Correo: dxrodriguezr@unal.edu.co. orcid.org/0000-0002-8373-0863
[3] Profesional investigadora, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Facultad de Ingeniería y Administración, Grupo de Investigación en Procesos Agroindustriales (GIPA). Palmira, Colombia. Correo: lxpinzonz@unal.edu.co
[4] Profesor asociado, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Facultad de Ingeniería y Administración, Líder del Grupo de Investigación en Procesos Agroindustriales (GIPA). Palmira, Colombia. Correo: leordonezs@unal.edu.co; orcid.org/0000-0002-8958-027X

Fecha recepción: 21/08/2016
Fecha aprobación: 16/12/2016

Para citar este artículo: Martínez-Girón, J., Rodríguez-Rodríguez, X., Pinzón-Zárate, L. X., & Ordóñez-Santos, L. E. (2017). Caracterización fisicoquímica de harina de residuos del fruto de chontaduro (*Bactris gasipaes* Kunth, Arecaceae) obtenida por secado convectivo. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *18*(3), 599-613

DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num3_art:747

* Autor de correspondencia

© 2017 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

Resumen

La producción de harina a partir de residuos de piel de chontaduro ha sido un tema olvidado desde el punto de vista de sus propiedades fisicoquímicas, debido a que los estudios reportados en la literatura se han centrado en la caracterización de harina del mesocarpio. El objetivo de este estudio consistió en evaluar las propiedades fisicoquímicas de la harina de epicarpio de chontaduro obtenida por secado convectivo a 60±2 °C, según un determinado modo de obtención y almacenamiento. Como resultado, se encontró que la harina es fuente de compuestos bioactivos, puesto que presenta concentración de fenoles totales (23,40±1,30 mg ácido gálico/100 g), actividad antioxidante (33,10 %±3,20), carotenoides totales (59,31±1,61 mg β-caroteno/100 g), color a* (4,95±0,58), color b* (3,25±0,57) y luminosidad (33,95±3,16). Por otra parte, se presentó un alto nivel de retención de los carotenoides totales (85 %) y de los compuestos fenólicos (94 %) después de los seis meses. El cambio de color no presentó diferencia significativa durante el almacenamiento. En conclusión, la harina obtenida es un subproducto adecuado como alternativa de sustituto agroalimentario, principalmente, por sus atributos de color y su actividad antioxidante. Es de resaltar, que este es uno de los primeros estudios de caracterización fisicoquímica de la harina de piel de chontaduro originario del Valle del Cauca (Colombia).

Palabras clave: Arecaceae, *Bactris gasipaes*, color, exocarpio, subproductos, Valle del Cauca (Colombia)

Abstract

The production of flour from residues of peach -palm fruit skin has been a forgotten topic from the view point of its physicochemical properties, because studies reported in the literature have focused on mesocarp flour characterization. The objective of this study was to evaluate the physicochemical properties of the peach palm fruit epicarp flour obtained by convective drying at 60±2 °C through a specific production and storage process. As a result, the flour was found to be a source of bioactive compounds, showing total phenol concentration (23.40±1.30 mg gallic acid/100 g), antioxidant activity (33.10%±3.20), total carotenoids (59.31±1.61 mg β-carotene/100 g), color a* (4.95±0.58), color b* (3.25±0.57), and luminosity (33.95±3.16). On the other hand, there was a high level of total carotenoids (85%) and phenolic compounds (94%) retention after six months. Additionally, color change showed no significant difference during storage. In conclusion, the flour obtained is a byproduct with properties that can be used as an alternative to agroalimentary substitutes, mainly due to its color and antioxidant activity attributes. It is noteworthy to mention that this is one of the first studies to physicochemically characterize peach palm fruit skin flour from Valle del Cauca (Colombia).

Key words: Arecaceae, *Bactris gasipaes*, colour, exocarp, byproducts, Valle del Cauca (Colombia)

Resumo

A produção de farinha a partir de resíduos de pele de pupunha tem sido um tema esquecido do ponto de vista de suas propriedades físico-químicas devido a que os estudos relatados na literatura têm se concentrado na caracterização de farinha do mesocarpo. O objetivo deste estudo consistiu em avaliar as propriedades físico-químicas da farinha de epicarpo de pupunha obtida por secagem convectiva a 60±2 °C, segundo um determinado modo de obtenção e armazenamento. Como resultado, constatou-se que a farinha é fonte de compostos bioativos, visto que apresenta concentração de fenóis totais (23,40±1,30 mg ácido gálico/100 g), atividade antioxidante (33,10 %±3,20), carotenoides totais (59,31±1,61 mg β-caroteno/100 g), cor a* (4,95±0,58), cor b* (3,25±0,57) e luminosidade (33,95±3,16). Por outro lado, apresentou-se um alto nível de retenção dos carotenoides totais (85%) e dos compostos fenólicos (94 %) depois dos seis meses. A mudança de cor não apresentou diferença significativa durante o armazenamento. Em conclusão, a farinha obtida é um subproduto adequado como alternativa de substituto agroalimentar, principalmente, por seus atributos de cor e sua atividade antioxidante. É de se destacar que este é um dos primeiros estudos de caracterização físico-química da farinha de pele de pupunha originária do Valle del Cauca (Colômbia).

Palavras chaves: Arecaceae, *Bactris gasipaes*, cor, exocarpo, subproduto, Valle del Cauca (Colombia)

© 2017 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

Introducción

En Colombia, el departamento del Valle del Cauca es el principal productor de chontaduro (*Bactris gasipaes* Kunth, Arecaceae), con una producción anual estimada de 48.792 t, seguido por el departamento del Cauca y Putumayo, según los reportes estadísticos de Agronet - MinAgricultura (2016). El chontaduro es considerado como una importante alternativa de cultivo alimentario, principalmente debido al valor nutritivo de su fruto en términos de altos niveles de fibra, grasa, β-caroteno, ocho aminoácidos esenciales y bajo contenido de sodio y azúcares (Yuyama et al., 2003). Su distribución se extiende desde Panamá hasta Bolivia, en regiones con una altitud inferior a 1.000 msnm, con precipitaciones anuales entre 2.000 y 5.000 mm y temperatura media anual de más de 22 °C (Leterme et al., 2005; Pinzón, Zapata, & Ordóñez, 2015). Pertenece a la familia de las palmáceas (Arecaceae) y es conocido con nombres comunes de acuerdo con la región donde se consume: chontaduro, pejibaye, cachipay, peripao y pupuña macanilla, entre otros (Restrepo, Vinasco, & Estupiñán, 2012).

Los frutos son de forma ovoide, cilíndrica, cónica o achatada, de 2 a 7 cm de largo, y presentan un epicarpio delgado que cubre al fruto. La fracción comestible está constituida por el mesocarpio (pulpa), generalmente, de color amarillo, naranja claro o rojizo (Pinzón et al., 2015). Cada fruto tiene una sola semilla, razón por la cual es una drupa, que presenta en su interior una almendra similar en color, sabor y textura a la del coco (*Cocos nucifera* L., Arecaceae) (Granados & López, 2002; Pinzón et al., 2015). El peso total de la fruta varía entre 20 y 100 g dependiendo del ecotipo (Vargas & Argüelles, 2000). La semilla puede pesar entre 3 y 4 g (Ordóñez, Pinzón, & González, 2015). A su vez, de acuerdo con lo reportado por Ordóñez et al. (2015) y por Vargas y Argüelles (2000), se estima que el fruto está conformado en un 92 % por piel y pulpa, mientras que el porcentaje restante corresponde a la semilla. De este 92 %, el 11 % corresponde a la piel (epicarpio) y el 81 % a la pulpa (mesocarpio), lo que representaría un volumen estimado de residuos de piel de chontaduro de 5.367,12 t/año para el departamento del Valle del Cauca (Colombia).

El mesocarpio de chontaduro presenta un alto contenido de carotenoides (22,30 mg/100 g), según lo reportado por Jatunov, Quesada, Díaz, & Murillo (2010). La fracción lipídica del fruto varía entre 8 % y 23 %, y cerca de la mitad del contenido graso lo constituyen aceites insaturados (Yuyama et al., 2003). Debido a esto, su consumo contribuye a un mejor estado de salud, por cuanto se asocia con una disminución del colesterol total, de lipoproteínas de baja densidad y de triglicéridos en la sangre, sin afectar el contenido de lipoproteínas de alta densidad (Yuyama et al., 2003).

El fruto del chontaduro se comercializa principalmente con una mínima transformación para el consumo humano (Pinzón et al., 2015). Del procesamiento artesanal se obtienen productos como harina, mermelada y conserva (Godoy, Pencue, Ruiz, & Montilla, 2007). Sin embargo, tanto el consumo directo como el procesamiento generan grandes volúmenes de residuos (cáscaras), cuyo potencial agroindustrial no se ha evaluado en la mayoría de los casos (Pinzón et al., 2015). Estos residuos normalmente son desechados o empleados en la alimentación animal (Perea, Martínez, Medina, & Hinestroza, 2013). Otras investigaciones refieren su utilización para la extracción de aceite usando dióxido de carbono presurizado (Pasquel & Castillo, 2002). También se ha estudiado el contenido de compuestos fenólicos solubles totales, con resultados de 108±2,06 mg/100 g de residuo fresco (Contreras, Calderón, Guerra, & García, 2011). Sin embargo, aún se requieren investigaciones que permitan evaluar el potencial de este subproducto como fuente importante de compuestos bioactivos que puedan ser empleados en la industria agroalimentaria, farmacéutica o cosmética.

Dado lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la obtención y almacenamiento de la harina de residuos de chontaduro en cuanto a sus propiedades fisicoquímicas.

Materiales y métodos

Obtención de harina de residuos de chontaduro (HRC)

El proceso de obtención de harina de residuos de chontaduro se presenta en la figura 1. Para llevarlo a cabo, fueron adquiridos 15 kg de residuos de epicarpio de chontaduro cocido (cáscaras) en diferentes puntos de venta del municipio de Palmira, Valle del Cauca (Colombia). Las muestras se sometieron a un proceso de selección en el que las partes con alteraciones fueron retiradas, y el resto se desinfectó con hipoclorito de sodio a 150 ppm durante 20 min. Después de un proceso de acondicionamiento (eliminación de agua de limpieza), las muestras se deshidrataron por convección forzada a 60±2 °C por 4,50 h, con velocidad de aire de 3 m/s y humedad relativa de 40±5 %, hasta obtener un valor de humedad de entre 9,5 y 11,0 %.

Después de esto, se realizó un proceso de molienda y se pasaron las muestras por un juego de tamices (malla 60) para homogenizar su tamaño (≤0,25 mm). La harina obtenida fue almacenada en un recipiente de vidrio estéril en condiciones de refrigeración (5±1 °C), bajo la aplicación de una atmósfera de nitrógeno y protección a la luz. El procedimiento anterior de obtención de la HRC fue realizado de acuerdo con la metodología descrita por Martínez y Ordoñez (2016).

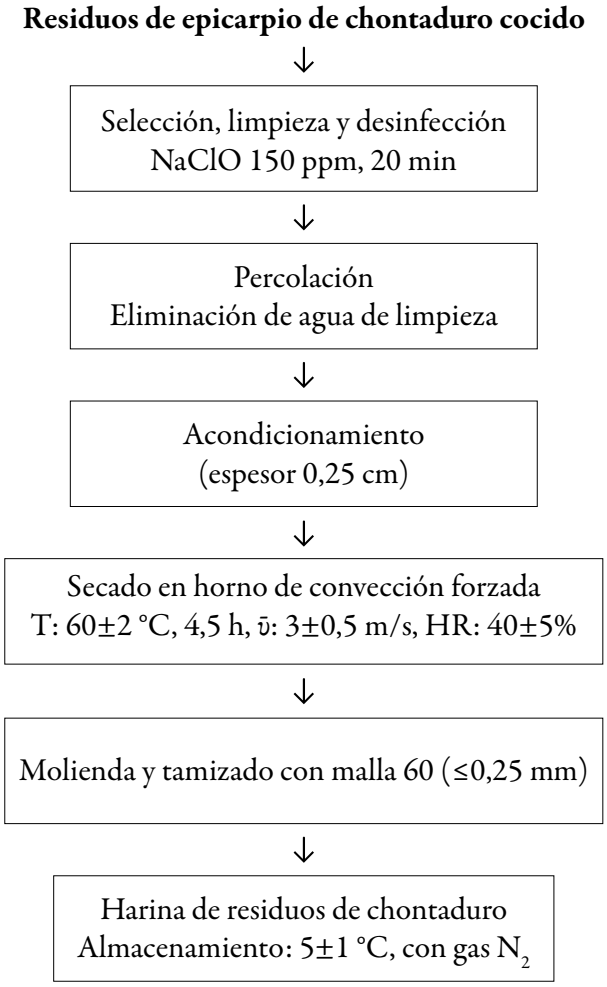

Figura 1. Proceso de obtención de HRC.
Fuente: Elaboración propia

© 2017 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

Determinaciones fisicoquímicas

Se realizaron mediciones de materia seca por secado en estufa a 105 °C; de actividad de agua con un AquaLab Decagon Devices, modelo 4 TE (EE. UU.), a 25 °C; de pH empleando un pH-metro Metrohm® 744 pH Meter; de acidez total por volumetría; de cenizas por calcinación en mufla a 550 °C; de proteína total por método Kjeldahl; de extracto etéreo (grasa) por método Soxhlet; de carbohidratos por método diferencial; y de fibra y material celulósico por método de digestión. Todos estos anteriores análisis fueron realizados de acuerdo con la metodología descrita por la Association of Official Agricultural Chemists (AOAC, 2005).

Determinación de compuestos fenólicos totales

Esta evaluación fue llevada a cabo mediante el método de Folin-Ciocalteu, de acuerdo con Singleton, Orthofer, y Lamuela (1999) y Teow et al. (2007). Se pesó aproximadamente 1 g de harina de residuos de chontaduro en un frasco Erlenmeyer de 50 mL forrado con papel aluminio. Luego se adicionaron 20 mL de etanol y agua, en relación (80:20 %v/v), y se mezclaron en plancha de agitación por 3 min.

Posteriormente, la mezcla fue sometida a sonificación usando un Ultrasonic Cleaner-DCPoweFull-Hagavish (Israel), durante 20 min a 25 °C. Pasado este tiempo, la muestra se filtró, y 0,5 mL del filtrado se mezclaron con 5 mL de agua destilada y 0,5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu marca Panreac AppliChem. Se dejó reaccionar la mezcla por 3 min a temperatura ambiente. Pasado este tiempo, se adicionó 1 mL de carbonato de sodio anhídrido al 20 % y los tubos se llevaron a un baño térmico programado a 45 °C por 15 min.

Finalmente, se dejaron enfriar las muestras, se calibró el equipo Spectrophotometer Jenway 6320D (EE. UU.) y se procedió a realizar lecturas de absorbancia a una longitud de onda de 765 nm. La curva de calibración presentó un 99,55 % de correlación y se registraron correlaciones entre 0,002 y 0,017 mg de ácido gálico (AG) por mL de solución.

Determinación de actividad antioxidante (% DPPH)

La actividad antioxidante expresada como porcentaje de inhibición del radical DPPH (2,2-diphenyl-1 -picrylhydrazyl radicals, marca Sigma-Aldrich Chemical) se llevó a cabo por el método descrito por Turkmen, Ferda, y Sedat (2005) y por Ruttarattanamongkol, Chittrakorn, Weerawatanakorn, y Dangpium (2016). Para esto, se pesaron aproximadamente 0,5 g de harina de residuos de chontaduro y se depositaron en un Erlenmeyer de 50 mL forrado con papel aluminio. Luego fueron adicionados 50 mL de metanol y se agitó el recipiente vigorosamente en una plancha de agitación por 1 min. Posteriormente la muestra se filtró hasta obtener el extracto.

La muestra fue preparada a partir de 1 mL del extracto y 2 mL del DPPH 0,1 mM recién preparado. A su vez, se elaboró un control, que consistió en 1 mL de metanol y 2 mL de DPPH 0,1 mM recién preparado. Tanto la muestra como el control se agitaron y se dejaron en reposo durante 1 h en la oscuridad. Finalmente se utilizó un equipo Spectrophotometer Jenway 6320D (EE. UU.) para las lecturas de la absorbancia tanto de la muestra como del control, a una longitud de onda de 517 nm, con metanol para la calibración del equipo.

El porcentaje de actividad antioxidante AA (%) en términos de inhibición del radical DPPH se encontró mediante la ecuación 1:

$$AA\ (\%) = \frac{A_{517\ Control} - A_{517\ Muestra}}{A_{517\ Control}} \times 100$$

(Ecuación 1)

Donde:

A_{517} =lectura de absorbancia a 517 (nm)

Determinación de carotenoides totales

Se siguió el protocolo descrito por Ordóñez y Realpe (2013). Se pesaron aproximadamente 0,01 g de muestra en un tubo de vidrio Fischer con tapa, forrado con papel aluminio. Se adicionaron 7 mL de la mezcla de solventes extractores en una relación 4:3 de etanol y hexano. Los tubos fueron depositados en un Beaker de 250 mL con soporte plástico y adición de agua fría provista de hielo, bajo una atmósfera de nitrógeno. Posteriormente, las muestras fueron llevadas a un agitador planetario durante 1 h a 230 rpm. Al cumplir la hora, se adicionó a cada tubo 1 mL de agua destilada y se continuó la agitación durante 15 min más. Una vez separada la fase acuosa y la fase orgánica, 3 mL de esta última fueron retirados con una micropipeta Fischer y fueron trasvasados a un tubo limpio. Finalmente, se realizaron lecturas de absorbancia a 450 nm, usando hexano como blanco en un equipo Spectrophotometer Jenway 6320D (EE. UU.).

El contenido de carotenoides totales *C.T* en el extracto fue calculado mediante la ecuación 2:

$$CT = \frac{A_{450} \times PM \times V}{W \times \varepsilon \times L} \times 100 \qquad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde:

A_{450} =lectura de absorbancia a 450 (nm)

PM=peso molecular del β-caroteno (g/mol)

V=volumen de solvente extractor (mL)

W= peso de muestra en solución (g)

ε=coeficiente de extinción molar del β-caroteno en hexano ($M^{-1}cm^{-1}$)

L=longitud de la celda (1cm)

Determinación del color superficial CIEL*a*b*

Se midió el color superficial utilizando un Colorímetro CR-400 Konica Minolta (Tokio Japón), en coordenadas CIEL*a*b* (L*, a* y b*). Se usó un iluminante estándar D_{65} y el ángulo de observador a 2°, con los siguientes parámetros de calibración: Y=89,50, x=0,3176, y=0,3347. Los valores de cromaticidad (C), tono (h°) y cambio de color (ΔE) se calcularon mediante las ecuaciones 3, 4 y 5, reportadas por Martínez y Ordoñez (2015) y por Quipo, Ramírez, Rojas, y Ordóñez (2013).

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \qquad \text{(Ecuación 3)}$$

$$h° = \tan^{-1} \times \left(\frac{b^*}{a^*}\right) \qquad \text{(Ecuación 4)}$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta a^{*2} + \Delta b^{*2} + \Delta L^{*2}} \qquad \text{(Ecuación 5)}$$

Análisis estadístico

Los resultados de las propiedades fisicoquímicas evaluadas en la harina de residuos de chontaduro fueron reportados como valores promedio ± desviación estándar. El efecto del almacenamiento de la harina obtenida se evaluó bajo un diseño unifactorial aleatorizado con tres tratamientos de cero, tres y seis meses, cada uno de los cuales contó con cinco repeticiones. Se realizó un análisis de Anova y una prueba de Tukey, con un nivel de significancia del 95 %. El tratamiento de datos fue evaluado con el paquete estadístico SSPS (Windows 18).

© 2017 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

Resultados y discusión

Propiedades fisicoquímicas de la HRC

Los parámetros fisicoquímicos evaluados en la harina obtenida de residuos de chontaduro (HRC) se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos de la HRC (*B. gasipaes*)

Determinaciones[1]		HRC
Materia seca (%)		89,35±±0,68
Actividad de agua (a_w)		0,41±±0,03
pH		5,13±±0,27
Acidez[2]		0,17±±0,02
% Cenizas		1,95±±0,04
% Proteína		6,18±±0,17
% Grasa		13,47±±0,52
% Carbohidratos		62,81±±0,62
% Fibra DN		15,57±±0,61
% Fibra DA		3,71±±0,98
% Lignina DA		1,28±±0,29
% Hemicelulosa		11,86±±0,54
% Celulosa		2,43±±0,22
Fenoles totales[3]		23,40±±1,30
Actividad antioxidante (% DPPH)		33,10±±3,20
Carotenoides totales[4]		59,31±±1,61
Color CIEL*a*b*	L*	33,95±3,16
	a*	4,95±0,58
	b*	3,25±0,57
	C	6,08±0,92
	h°	31,79±2,99

[1] Valores promedio ±DS (n=5); HRC: harina de residuos de chontaduro (epicarpio); DN: detergente neutro; DA: detergente ácida
[2] Valores expresados en equivalentes de ácido cítrico/100 g de muestra b.s
[3] Valores expresados en mg de ácido gálico/100 g de muestra b.s
[4] Valores expresados en mg de β-caroteno/100 g de muestra b.s
Fuente: Elaboración propia

La harina de residuos de chontaduro obtenida presentó un porcentaje de materia seca final de 89,35 %±0,68 debido al tratamiento térmico aplicado, que permitió la evaporación del agua libre en los residuos de epicarpio. Este resultado fue cercano al informado por Garbanzo, Pérez, Bustos, & Vaillant (2011), quienes reportaron un valor de materia seca de 90,00 % en harina de mesocarpio de chontaduro. A su vez, Oliveira, Martínez, Andrade, Garnica, & Chang (2006) informaron un valor de 92,91 % en harina de mesocarpio. En este sentido, el secado disminuyó el contenido de humedad de la harina de residuos de chontaduro hasta una actividad de agua de 0,41±0,03. La disminución del contenido de agua libre reflejado en la baja actividad de agua obtenida permitió prolongar la vida útil de la harina, ya que se disminuyó la probabilidad del crecimiento de bacterias, hongos y mohos. También se reduce el deterioro originado por reacciones enzimáticas de acuerdo con lo reportado por Forero, Godoy, Díaz, Luna, & Motta (2005).

El pH, determinado para la harina en 5,13±0,27, indica que la HRC es un producto ligeramente ácido, cuyo valor se debe a la presencia de iones hidronio aportados por los ácidos orgánicos presentes en el material biológico. Este resultado es aproximado a los reportados por Garbanzo et al. (2011), quienes reportaron valores de pH en mesocarpio de chontaduro crudo de 5,30±0,60, en mesocarpio cocido de 5,60±0,60 y en harina de mesocarpio de 6,10±0,20. Por otra parte Bolanho, Cervejeira, Dalva, & Adelaide (2014) reportaron valores de pH entre 5,76±0,01 y 6,02±0,01 en harina de vaina y harina de tallo de palma de chontaduro respectivamente. Adicionalmente, el valor de la acidez en la harina de residuos de chontaduro evaluada fue de 0,17±0,02, valor similar al informado por Garbanzo et al. (2011), quienes encontraron un valor de acidez de 0,16±0,04 en harina de mesocarpio de chontaduro. Es de resaltar que el valor de acidez obtenido en la HRC es un efecto positivo en el producto, ya que es un factor que indica un bajo contenido de ácidos grasos libres.

En relación con el porcentaje de cenizas (minerales inorgánicos) se encontró un valor de 1,95±0,04, el cual es cercano al hallado por Garbanzo et al. (2012), quienes obtuvieron valores de cenizas de 1,78 % en harina de mesocarpio de chontaduro. Sin embargo, estos resultados son inferiores a los reportados por Yuyama et al. (2003), quienes reportaron valores de cenizas de 0,60 % en mesocarpio de chontaduro, lo que permitió evidenciar la diferencia del contenido mineral presente en el epicarpio y el mesocarpio del chontaduro.

El porcentaje de proteína obtenido en la harina de residuos de chontaduro fue de 6,18±0,17, valor significativo en relación con el contenido reportado por Garbanzo, Pérez, Castro, y Vaillant (2012), quienes registraron un valor de 5 % en mesocarpio de chontaduro crudo, cocido y en harina. Esto permite evidenciar que el epicarpio de chontaduro presenta un alto contenido proteico. Sin embargo, de acuerdo con la NTC 267 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas [Icontec], 2013), el contenido de proteína de una harina panificable debe ser superior al 7 %, lo cual indica que la HRC no aportaría la cantidad de proteína necesaria para la obtención de un producto panificado adecuado respecto a su volumen final. En todo caso, se resalta que sería una buena alternativa como sustituto parcial.

Con relación al porcentaje de extracto etéreo y carbohidratos, Garbanzo et al. (2012) reportaron un valor de porcentaje de grasa de 13 % y un porcentaje de carbohidratos de 67 % en harina de mesocarpio de chontaduro, lo cual es un valor muy similar al obtenido en este estudio. De acuerdo con estos resultados, se evidencia que la harina de residuos de chontaduro es un producto con un alto nivel lipídico, posiblemente por su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, si se compara con la harina de epicarpio de otras frutas que presentan un bajo valor de extracto etéreo —por ejemplo, la harina de epicarpio de mango y naranja, que presentan un porcentaje de grasa de 1,84 % y 1,73 % respectivamente, de acuerdo a lo informado por Martínez, Díaz, & Martínez (2015)—.

En relación con el contenido de hemicelulosa, celulosa y lignina, los resultados obtenidos en HRC fueron similares a los reportados por Bolanho et al. (2014), quienes encontraron valores de 11,64 %,

© 2017 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

22,30 % y 1,04 % respectivamente, en tallo de palma de chontaduro. Por otra parte, los valores de fibra obtenidos en la harina de residuos de chontaduro hacen que este sea una fuente interesante de dicho componente dietario. En este sentido, se han adelantado investigaciones de fibra con harina procedente de otras frutas. Ramírez y Pacheco (2009), por ejemplo, adelantaron estudios en harina de piña y obtuvieron valores de 13,65 %; en harina de guayaba, de 65,64 %; y en harina de guanábana, de 49,34 %. A su vez, Martínez & Ordóñez (2015) evaluaron el contenido de fibra dietaría en harina de epicarpio de mango y de epicarpio de naranja, y obtuvieron valores de 59,24 % y 49,80 %, respectivamente.

En cuanto a los compuestos bioactivos evaluados en la HRC, el contenido de compuestos fenólicos totales fue de 23,40 mg AG/100 g, la actividad antioxidante fue de 33,10 % DPPH y los carotenoides totales fueron de 59,31 mg β-caroteno/100 g (tabla 1) (esto último indica que la HRC obtenida es una importante fuente de carotenoides con actividad antioxidante). Investigaciones anteriores han evaluado los compuestos antioxidantes y fenólicos en mesocarpio de chontaduro. Quesada et al. (2011), por ejemplo, realizaron determinaciones de actividad antioxidante (% DPPH) en mesocarpio de dos variedades de chontaduro (Yurimaguas y Ecuador), y registraron valores de 11,60 % y 9,10 % respectivamente, resultados inferiores a los obtenidos en este estudio. Por otra parte, Contreras et al. (2011) y Garbanzo et al. (2011) reportaron valores de fenoles totales de 63 mg AG/100 g de muestra en harina de mesocarpio de chontaduro variedad Costa Rica, y 65,70 mg AG/100g en pulpa de chontaduro, respectivamente, lo cual supera los resultados obtenidos en el presente estudio. La diferencia puede deberse a la variedad del material utilizado y a las condiciones climáticas de cosecha.

Con respecto a los carotenoides totales obtenidos para la HRC, estos superan lo reportado por Jatunov et al. (2010) para mesocarpio cocido de chontaduro: 1,30-19,40 mg/100 g. Este aumento en la concentración de carotenoides totales al deshidratar los residuos coincide con lo reportado previamente por Garbanzo et al. (2011), quienes obtuvieron un 50 % más de retención de carotenoides totales en harina de mesocarpio de chontaduro frente al material en fresco. Por otra parte, no solo la deshidratación puede producir un aumento en el contenido de carotenoides. Estudios anteriores muestran resultados cuyos procesos de transformación, que incluyen tratamientos térmicos, han aumentado el contenido de estos compuestos bioactivos, por ejemplo, la obtención de pasta de tomate (Ordóñez, Vázquez, Arbonez, & Romero, 2009) y el freído controlado del pimentón rojo (Martínez & Ordoñez, 2015).

Sumado a lo anterior, el contenido de carotenoides totales en la muestra de harina de epicarpio de chontaduro presentó valores superiores a los reportados en estudios anteriores en mesocarpio de chontaduro. En relación con lo anterior, Rosso & Mercadante (2007) realizaron estudios en mesocarpio de frutos de palma de la Amazonia brasileña y reportaron un valor de 19,70 mg/100 g. Por su parte, Jatunov et al. (2010) reportaron valores, para mesocarpio de frutos de chontaduro, de 5,80±0,10 mg/100 g para la variedad Costa Rica y de 6,40±0,30 mg/100 g para la variedad Brasil. Garbanzo et al. (2011) reportaron 23,77 mg/100 g en harina de mesocarpio de chontaduro. Quesada et al. (2011) encontraron valores de 7,40±0,20 mg/100 g en mesocarpio de frutos de chontaduro variedad Ecuador y 5,70±0,10 mg/100 g en frutos variedad Yurimaguas.

Cabe resaltar que, a la fecha, este es uno de los primeros estudios de cuantificación de carotenoides totales, de actividad antioxidante y de color superficial en harina de epicarpio de chontaduro, debido a que las referencias anteriormente reportadas corresponden a investigaciones realizadas en mesocarpio de chontaduro, con excepción de la investigación previamente realizada por Martínez & Ordoñez (2016). Estos últimos informaron que los pigmentos carotenoides responsables del color en la harina de residuos de chontaduro corresponden a α-caroteno, all-trans β-caroteno, 13-cis β-caroteno, 9-cis β-caroteno, 15-cis β-caroteno, luteína, zeaxantina y violaxantina. Así mismo, Jatunov et al. (2010) identificaron el β-caroteno como el pigmento

predominante en el mesocarpio de chontaduro, seguido de licopeno y pigmentos del grupo de las xantofilas.

En relación con el color superficial CIEL*a*b*, los bajos valores de luminosidad L*, cromaticidad C, la relación de las coordenadas a*/b* y los altos valores de tonalidad h° indican la presencia de un color amarillo oscuro en la HRC (figura 2). El color de la harina se debe principalmente al alto contenido de carotenoides 59,31 mg/100 g (tabla 1) y a la existencia de pigmentos generados durante el proceso de deshidratación de la muestra. Por otra parte, Garbanzo et al. (2012) evaluaron las propiedades colorimétricas de la harina de mesocarpio de chontaduro, y reportaron valores de (L*) 69±3, (h°) 71±1, (C) 73±5 y valores de ΔE de 25 y 8, entre los cambios de color dechontaduro crudo a chontaduro cocinado y de cocinado a harina respectivamente.

De acuerdo con lo anterior, la reducción del color superficial en la HRC frente a los residuos de epicarpio cocidos probablemente se debe a los procesos de isomerización y oxidación de los carotenoides durante el proceso de deshidratación. Tanto las coordenadas como los parámetros de color disminuyeron por el efecto de la deshidratación. Este comportamiento concuerda con el estudio realizado por Argyropoulos y Muller (2014), en el cual se secaron con aire caliente (temperaturas de 30 °C a 90 °C) hojas de toronjil *Melissa officinalis* L. (Lamiaceae). Argyropoulos & Muller (2014) mostraron que los valores de la coordenada b*, los parámetros de luminosidad L*, la saturación C y el tono h° disminuyeron significativamente al secar las hojas en las dos temperaturas. En otro estudio realizado por Toor & Savage (2006), se secaron tres variedades de tomate a 42 °C y se compararon los valores de L*, a* y b* de las muestras frescas y de las muestras después del secado; en ambos casos se obtuvo una disminución de todos los valores para las tres variedades.

Propiedades fisicoquímicas durante el almacenamiento de la HRC

El efecto del tiempo de almacenamiento (0, 3 y 6 meses) sobre las variables fisicoquímicas evaluadas en la HCR (pH, acidez, materia seca, carotenoides totales, fenoles totales, actividad antioxidante, coordenadas de color L*, a* y b*, cromaticidad C, tono h° y cambio de color ΔE) se presenta en la tabla 2. El almacenamiento de la harina de residuos de chontaduro se llevó a cabo en frasco de vidrio estéril a 5±1 °C, bajo protección de la luz en atmosfera de nitrógeno, con el fin de evaluar los cambios fisicoquímicos del material biológico ante estas condiciones experimentales.

Figura 2. Color de HRC.

© 2017 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas evaluadas durante el almacenamiento de la HRC

Tiempo (meses)	pH	Acidez[1]	% Materia seca	Carotenoides totales[2]	Fenoles totales[3]	Actividad antioxidante[4]
0	5,13±0,27	0,173±0,06	89,35±0,68^{b}	59,31±1,61^{a}	23,40±1,34^{a}	33,10±3,23^{b}
3	5,16±0,05	0,171±0,02	89,86±0,28^{a}	50,11±2,71^{b}	21,51±1,15^{b}	38,90±3,15^{a}
6	5,16±0,03	0,174±0,06	91,39±0,41^{a}	43,30±1,14^{c}	21,90±1,52^{b}	36,80±2,57^{ab}
Anova	NS	NS	(*)	(***)	(**)	(**)
Tiempo (meses)	L*	a*	b*	C	h°	ΔE
0	33,77±3,10^{a}	4,92±0,58	3,40±1,45^{b}	6,11±0,92^{b}	33,29±1,50b	EC
3	28,37±0,17^{b}	4,96±0,13	13,65±0,43^{a}	14,53±0,41^{a}	70,02±0,72a	11,57±0,10
6	28,16±0,54^{b}	4,63±0,24	13,41±0,68^{a}	14,19±0,71^{a}	70,93±0,42a	11,48±0,11
Anova	(***)	NS	(***)	(***)	(***)	NS

[1] La acidez expresada en equivalentes de ácido cítrico/100 g de muestra b.s.
[2] Los carotenoides totales expresados en mg de β-caroteno/100 g muestra b.s.
[3] Los fenoles totales expresados en mg de ácido gálico equivalente/100 g de muestra b.s.
[4] La capacidad antioxidante expresada en porcentaje (% DPPH).
EC: estándar de comparación.
a, b, c: diferentes letras en una misma columna indican una diferencia significativa entre los tiempos de almacenamiento en función del tiempo cero.
(*): significativo p < 0,05; (**): significativo p < 0,01; (***): significativo p < 0,001
NS: no hay diferencias estadísticas
Fuente: Elaboración propia

El análisis de Anova indica que la materia seca, la concentración de carotenoides totales, los compuestos fenólicos totales y el % DPPH se afectaron significativamente durante el almacenamiento; por el contrario, el pH y la acidez no cambiaron significativamente durante dicho tiempo (tabla 2).

La materia seca presentó un aumento significativo durante el tiempo de almacenamiento. Este evento está asociado con la ligera pérdida de agua libre generada en el material por presencia de reacciones catalíticas. La concentración de carotenoides totales y de los fenoles totales en la HRC disminuyó significativamente después de tres meses de almacenamiento. A pesar de esta reducción, se observa un alto nivel de retención de los pigmentos carotenoides (85 %) y de los compuestos fenólicos (94 %) después de los seis meses de almacenamiento. Por otra parte, la actividad antioxidante aumentó significativamente a los tres meses, para luego estabilizarse al finalizar el periodo de evaluación. La estabilidad de estos compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante en la HRC probablemente es consecuencia de la reducción de los procesos de oxidación durante el almacenamiento, ya que las muestras se almacenaron a bajas temperaturas (5 °C), con total oscuridad y con incorporación de nitrógeno antes del sellado del recipiente.

El color superficial y los parámetros colorimétricos durante el almacenamiento de la HRC se relacionan en la tabla 2 en coordenadas L*, a* y b*, cromaticidad, tono y cambio de color. El análisis de Anova evidencia que existe un efecto significativo en los parámetros de color durante el almacenamiento de HRC, excepto en los atributos colorimétricos a* y en la diferencia de color ΔE.

El valor de la luminosidad L* presentó una disminución significativa a partir del tercer mes. Los parámetros b*, C, h° aumentaron estadísticamente desde el tercer mes de almacenamiento: incremento de la tonalidad amarilla y ciertas tonalidades pardas. Este cambio de color entre tonalidad amarilla y parda probablemente es debido a las reacciones típicas de pardeamiento (reacciones de caramelización y reacción de Maillard) que generan la pigmentación de compuestos en dicho color durante la obtención y el almacenamiento de harinas (García, Pacheco, & Tovar, 2007).

En otros estudios se ha evaluado la estabilidad del color durante la obtención y el almacenamiento de otras fuentes de harinas. Torres y Guerra (2003) reportaron, en harina de maíz amarillo, valores finales de color a* de 0,20±0,09 y de color b* de 12,30±0,40. Praderes, Auris, y Emperatriz (2010) estudiaron las propiedades colorimétricas de la harina de zapallo, y obtuvieron valores de color L* de 54,95, h° de 13,73 y C de 23,48. Por otra parte, la tendencia a la disminución de los valores L* y b* obtenida en este estudio coincide con lo reportado por otros autores. Aboubakar, Njintang, Marcel, Scher, y Carl (2010) estudiaron los cambios de color en harina de malanga amarilla durante seis meses de almacenamiento, y evidenciaron una disminución en el valor L* y un incremento en b*. Uchechukwu, Oluwafemi, Caleb, y Umezuruike (2015) evaluaron las propiedades colorimétricas de la harina de yuca variedad Amarilla durante doce semanas de almacenamiento, y encontraron una disminución del valor L* de 84,64 y de b* de 10,74, con un cambio de color ΔE de 5,61.

De acuerdo con los resultados obtenidos, es de resaltar que la HRC no presentó una variación significativa en relación con el cambio de color ΔE durante el tiempo de almacenamiento, lo cual es un indicador de que la HRC presenta una alta actividad colorante durante los seis meses de almacenamiento, conforme a las condiciones empleadas en este estudio.

Conclusiones

De la presente investigación se concluye que la HRC es un subproducto de transformación agroindustrial con propiedades fisicoquímicas que lo constituyen en una alternativa promisoria como sustituto parcial de harina de trigo por su funcionalidad colorante o antioxidante.

El análisis proximal mostró que la harina obtenida es fuente de extracto etéreo, fibra, proteína y hemicelulosa, lo que la convierte en un producto con propiedad texturizante. El tiempo de almacenamiento de la harina influyó en la estabilidad del contenido de carotenoides totales, fenoles totales y capacidad antioxidante. Sin embargo, el cambio de color total no presentó variación durante el almacenamiento. La anterior estabilidad convierte la harina de residuos de chontaduro en una opción o alternativa como colorante natural para ser aplicado en la industria agroalimentaria.

Agradecimientos

Los autores manifiestan sus agradecimientos a la Dirección de Investigaciones de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira (Dipal), a través del Proyecto Hermes 19784, y al Proyecto Joven Investigador, Convocatoria 617-2013 de Colciencias, por el financiamiento de equipos, materiales y reactivos empleados en esta investigación.

Descargos de responsabilidad

Los autores están de acuerdo con la publicación del presente artículo y declaran que no existe ningún conflicto de interés.

© 2017 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

Referencias

Aboubakar, Y., Njintang, N., Marcel, R., Scher, J., & Carl, M. (2010). Effect of storage on the physicochemical, functional and rheological properties of taro (*Colocasia esculenta*) flour and paste. *Innovative Romanian Food Biotechnology*, *7*, 37-48.

Agronet - MinAgricultura. (2016). *Sistemas de estadísticas agropecuarias*. Recuperado de http://www.agronet.gov.co/.

Argyropoulos, D., & Muller, J. (2014). Kinetics of change in colour and rosmarinic acid equivalents during convective drying of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, *1*(1), 15-22.

Association of Official Agricultural Chemists [AOAC]. (2005). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (17th ed.). Maryland, EE. UU.: AOAC International.

Bolanho, B., Cervejeira, E., Dalva, G., & Adelaide, A. (2014). Characterization of flours made from peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) by-products as a new food ingredient. *Journal of Food and Nutrition Research*, *53*(1), 51-59.

Contreras, C., Calderón, J., Guerra, H., & García, V. (2011). Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. *Food Research International*, *44*(7), 2047-2053.

Forero, C., Godoy, S., Díaz, D., Luna, G., & Motta, E. (2005). Estandarización de conservas de chontaduro como alternativa para el fortalecimiento integral de la minicadena de la palma de chontaduro (*Bactris gasipaes*) en el departamento del Cauca. *Revista Facultad de Ciencias Agrarias*, *3*(1), 1-10.

Garbanzo, R., Pérez, M., Bustos, C., & Vaillant, F. (2011). Identification and quantification of carotenoids by HPLC-DAD during the process of peach palm (*Bactris gasipaes* H.B.K.) flour. *Food Research International*, *44*, 2377-2384.

Garbanzo, R., Pérez, M., Castro, F., & Vaillant, F. (2012). Major physicochemical and antioxidant changes during peach-palm (*Bactris gasipaes* H.B.K.) flourprocessing. *Fruits*, *67*(6), 1-13.

García, A., Pacheco, J., & Tovar, E. (2007). Caracterización fisicoquímica y funcional de las harinas de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) para sopas instantáneas. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, *5*(5), 1-10.

Godoy, S., Pencue, L., Ruiz, A., & Montilla, D. (2007). Clasificación automática del chontaduro (*Bactris gasipaes*) para su aplicación en conserva, mermelada y harinas. *Revista Facultad de Ciencias Agrarias*, *5*(2), 137-146.

Granados, S., & López, R. (2002). Manejo de la palma de coco (*Cocos nucifera*) en México. *Revista Chapingo*, 8(1), 39-48.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas [Icontec]. (2013). *NTC 267: harina de trigo. Generalidades*. Bogotá: Icontec.

Jatunov, S., Quesada, S., Díaz, C., & Murillo, E. (2010). Carotenoid composition and antioxidant activity of the raw and boiled fruit mesocarp of six varieties of *Bactris gasipaes*. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, *60*(1), 99-104.

Leterme, P., García, F., Londoño, A., Rojas, M., Buldgen, A., & Souffrant, W. (2005). Chemical composition and nutritive value of peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) in rats. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *85*(9), 1505-1512.

Martínez, G., Díaz, C., & Martínez, L. (2015). Propiedades hidrodinámicas de la fibra dietaría a partir de harina de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*) y mango (*Mangifera indica* L). *Ingenium*, *9*(26), 11-19.

Martínez, G., & Ordoñez, S. (2015). Efecto del procesamiento térmico sobre el color superficial del pimentón rojo (*Capsicum annuum*) variedad Nataly. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, *13*(2), 104-113.

Martínez, G., & Ordoñez, S. (2016). Determinación de la concentración de pigmentos carotenoides en harina de residuos de chontaduro (*Bactris gasipaes*). *Producción + Limpia*, *11*(1), 85-93.

Oliveira, D., Martínez, J., Andrade, M., Garnica, G., & Chang, K. (2006). Use of pejibaye flour (*Bactris gasipaes* Kunth) in the production of food pastas. *International Journal of Food Science and Technology*, *41*(8), 933-937.

Ordóñez, S., Pinzón, Z., & González, S. (2015). Optimization of ultrasonic-assisted extraction of total carotenoids from peach palm fruit (*Bactris gasipaes*) by-products with sunflower oil using response surface methodology. *Ultrasonics Sonochemistry 27*, 560-566.

Ordóñez, S., & Realpe, L. (2013). Lycopene concentration and physicochemical properties of tropical fruits. *Food and Nutrition Sciences*, *4*, 758-762.

Ordóñez, S., Vázquez, O., Arbonez, M., & Romero, R. (2009). The influence of storage time on micronutrients in bottled tomato pulp. *Food Chemistry*,*112*(1), 146-149.

Pasquel, A., & Castillo, A. (2002). Extracción del aceite de la piel de (*Bactris gasipaes* H.B.K.) usando dióxido de carbono presurizado. *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*, *2*(1), 1-14.

Perea, M., Martínez, G., Medina, H., & Hinestroza, L. (2013). Bromatological characterization plants species and by products in the humid tropic of Colombia. *Acta Agronómica*, *62*(4), 326-332.

Pinzón, Z., Zapata, H., & Ordóñez, S. (2015). Análisis de los parámetros de color en salchichas Frankfurt adicionadas con extracto oleoso de residuos de chontaduro (*Bactris gasipaes*). *Información Tecnológica*, *26*(5), 45-54.

Praderes, G., Auris, G., & Emperatriz, P. (2010). Caracterización fisicoquímica y funcional de la harina de auyama (*Cucurbita maxima* L.) obtenida por secado en doble tambor rotatorio. *Revista de la Facultad de Agronomía (UCV)*, *36*(2), 53-57.

Quesada, S., Gabriela, A., Jatunov, S., Jiménez, G., Navarro, L., & Gómez, G. (2011). Carotenoids composition, antioxidant activity and glycemic index of two varieties of *Bactris gasipaes*. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, *23*(6), 482-489.

Quipo, M., Ramírez, M., Rojas, P., & Ordóñez, S. (2013). Cambios en la vitamina C y el color durante la cocción del pimentón verde (*Capsicum annuum* L). *Tecno Lógicas*, *31*, 141-150.

Ramírez, A., & Pacheco, E. (2009). Propiedades funcionales de harinas altas en fibra dietética obtenidas de piña, guayaba y guanábana. *Interciencia*, *34*(4), 293-298.

Restrepo, O., Vinasco, L., & Estupiñán, J. (2012). Estudio comparativo del contenido de ácidos grasos en 4 variedades de chontaduro (*Bactris gasipaes*) de la región del pacífico colombiano. *Revista de Ciencias*, *16*, 123-129.

Rosso, V. V., & Mercadante, A. Z. (2007). Identification and quantification of carotenoids, by HPLC-PDA-MS/MS, from Amazonian fruits. J*ournal of Agricultural and Food Chemistry*, *55*(13), 5062-5072.

Ruttarattanamongkol, K., Chittrakorn, S., Weerawatanakorn, M., & Dangpium, N. (2016). Effect of drying conditions on properties, pigments and antioxidant activity retentions of pretreated orange and purple-fleshed sweet potato flours. *Journal of Food Science and Technology*, *53*(4), 1811-1822.

Singleton, V., Orthofer, R., & Lamuela, R. (1999). [14] Analysis of total phenol and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin–Ciocalteau reagent. *Methods in Enzymology*, *299*, 152-178.

Teow, C., Truong, V., Mcfeeters, R., Thompson, R., Pecota, K., & Yencho, G. (2007). Antioxidant activities, phenolic and β-carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours. *Food Chemistry*, *103*(3), 829-838.

Toor, R., & Savage, G. P. (2006). Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes. *Food Chemistry*, *94*(1), 90-97.

Torres, A., & Guerra, M. (2003). Sustitución parcial de harina de maíz precocida con harina de quinchoncho (Cajanus cajan) para la elaboración de arepas. *Interciencia*, *28*(11), 10-17.

Turkmen, N., Ferda, S., & Sedat, V. (2005). The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry*, *93*(4), 713-718.

Uchechukwu, A., Oluwafemi, A., Caleb, M., & Umezuruike, L. (2015). Effects of storage conditions and duration on physicochemical and microbial quality of the flour of two cassava cultivars. *CyTA - Journal of Food*, *13*(4), 635-645.

Vargas, G., & Argüelles, J. (2000). Clasificación y caracterización de veinte razas de palma de chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K.) de acuerdo con las propiedades fisicoquímicas y bromatológicas del fruto. *Sinchi*, *1*, 1-19.

Yuyama, L., Aguiar, J., Yuyama, C., Clement, S., Macedo, D., Favaro, ... Vannuncchi, H. (2003). Chemical composition of the fruit mesocarp of three peach palm (*Bactris gasipaes*) populations grown in central Amazonia Brazil. *International Journal of Food Science and Nutrition, 54*(1), 49-56.

© 2017 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria