

Cuantificación de compuestos con potencial bioactivo en *Citrullus lanatus*, *Luffa cylindrica* y *Sicana odorifera*

Quantification of potencial bioactive compounds in *Citrullus lanatus*, *Luffa cylindrica* and *Sicana odorifera*

Angie P. León-Cristancho¹ ; Karol A. Roa-Higuera¹ ; Nixon Meneses-Marentes¹ ; Martha Tarazona-Díaz^{2*} 

¹Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, D.C., Colombia; email: angiep.leonc@utadeo.edu.co; karola.roahiguera@utadeo.edu.co; nixona.menesesm@utadeo.edu.co

²Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Programa de Ingeniería de Alimentos. Bogotá, D.C., Colombia; e-mail: marthap.tarazonad@utadeo.edu.co

*autor de correspondencia: marthap.tarazonad@utadeo.edu.co

Cómo citar: León-Cristancho, A.P.; Roa-Higuera, K.A.; Meneses-Marentes, N.; Tarazona-Díaz, M. 2022. Cuantificación de compuestos con potencial bioactivo en *Citrullus lanatus*, *Luffa cylindrica* y *Sicana odorifera*. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 25(2):e2123. <http://doi.org/10.31910/rudca.v25.n2.2022.2123>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: octubre 10 de 2021

Aceptado: noviembre 15 de 2022

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

La sandía vanessa, la luffa y la cassabanana son cucurbitáceas que poseen compuestos con potencial bioactivo, esto es, presencia de compuestos que ejercen efectos benéficos para la salud. En Colombia, estas frutas son desaprovechadas, debido a su escasa popularidad; dar a conocer la información de sus compuestos nutricionales incentiva su aprovechamiento y consumo. El objetivo del presente estudio fue realizar la caracterización fisicoquímica y evaluar el efecto de la liofilización y la extracción asistida por ultrasonido sobre el contenido de vitamina C, polifenoles totales y capacidad antioxidante de las partes de cada fruto. Los desechos generados entre cortezas y semillas son de 28,3 % (sandía), 68,76 % (luffa) y 25,39 % (cassabanana); estos, a su vez, presentaron contenidos de polifenoles totales y capacidad antioxidante mayores que en la pulpa. El tratamiento de liofilización mejoró la extracción % en capacidad antioxidante, vitamina C y polifenoles totales, comparado con las muestras frescas. Por otro lado, tanto la corteza como la pulpa de luffa son una buena fuente de compuestos con capacidad antioxidante, mientras que la sandía y la cassabanana

alcanzaron una buena aceptación sensorial, lo cual, se atribuye al contenido de sólidos solubles y el alto contenido de agua, que las hace frutas dulces y refrescantes.

Palabras clave: Antioxidante; Compuesto bioactivo; Cucurbitáceas; Liofilización; Polifenoles totales.

ABSTRACT

Vanessa watermelon, luffa and cassabanana are cucurbits that have compounds with bioactive potential, that is, compounds that have beneficial effects on health. In Colombia, these fruits are underutilized due to their low popularity; making known the information on their nutritional compounds encourages their use and consumption. The objective of this study was to perform the physicochemical characterization and evaluate the effect of freeze-drying and ultrasound-assisted extraction on the vitamin C content, total polyphenols and antioxidant capacity of the parts of each fruit. The wastes generated between rinds and seeds are 28.3 % (watermelon), 68.76 % (luffa) and 25.39 % (cassabanana),

these in turn presented higher total polyphenol contents and antioxidant capacity than in the pulp. The freeze-drying treatment improved the extraction % in antioxidant capacity, vitamin C and total polyphenols compared to fresh samples. On the other hand, both rind and pulp of luffa are a good source of compounds with antioxidant capacity, while watermelon and cassabanana reached a good sensory acceptance, which is attributed to the soluble solids content and the high-water content, which makes them sweet and refreshing fruits.

Keywords: Antioxidant; Bioactive compound; Cucurbitaceae; Lyophilization; Total polyphenols.

INTRODUCCIÓN

La sandía vanessa (*Citrullus lanatus*), la cassabanana (*Sicana odorifera*) y la luffa (*Luffa cylindrica*), también conocida como estropajo, son frutas de la familia de las cucurbitáceas. La importancia de esta familia, se ve reflejada en ámbitos económicos, nutricionales y culturales (Schaffer & Paris, 2016). En Colombia, la mayor producción de sandía para el 2018 fue en el departamento del Meta, donde la cifra ascendió a 1.284,11 toneladas y cuyos cultivos cubrían un área de 2.384,09 hectáreas. Para el mismo año, se reportó una producción de 86,65 toneladas de luffa, siendo cultivadas 19,9 hectáreas en los departamentos de Tolima, Risaralda y Valle del cauca (Minagricultura, 2018); no obstante, para la cassabanana, no se encuentran reportes oficiales de producción. Tanto la sandía como la cassabanana son de consumo esporádico en Colombia, mientras que la luffa es usada como materia prima, para exportación y fabricación de productos dermatológicos y textiles, como material para tratamiento de aguas, bioadsorbente, fuente de fibras, sustrato para la germinación y crecimiento de plantas; sin embargo, no es conocido su uso en alimentación humana.

En general, las frutas se caracterizan por su potencial bioactivo, que hace referencia a la presencia de compuestos que ejercen efectos benéficos para la salud, como es el caso de los antiinflamatorios, anticancerígenos y antioxidantes (Kris-Etherton *et al.* 2004); estos últimos, albergan una importante fuente de compuestos inherentes a su pulpa, corteza y semilla, cuya principal función es retrasar el daño oxidativo y prevenir los radicales libres formados, como consecuencia de las condiciones ambientales (Urquiza-Martínez & Fenton Navarro, 2016). Ozuna & León-Galván (2017) mencionan la falta de conocimiento acerca del aprovechamiento de péptidos bioactivos en residuos, como las semillas de cucurbitáceas, las cuales, podrían sustituir antioxidantes sintéticos, causantes de posibles efectos desfavorables para la salud. Para el 2017, solamente en la central de mercado Corabastos de Bogotá, D.C., se generaron, en promedio, residuos mensuales de 1.050 toneladas de verduras y 294 toneladas de frutas (Peñaranda Gonzalez *et al.* 2017); por consiguiente, la obtención de compuestos con potencial bioactivo a partir de las diferentes partes de las frutas, podrían convertirlos en materias primas para la obtención de productos con alto valor agregado.

Para la extracción de compuestos con potencial bioactivo, a partir de matrices vegetales, existen técnicas, como la extracción asistida

por ultrasonido (EAU). La EAU causa un fenómeno denominado cavitación, en donde se genera una corriente de burbujas que implosionan, provocando la ruptura de tejidos y segregando el contenido celular. Tal tecnología logra altos rendimientos y tasas de extracción de compuestos bioactivos (Wen *et al.* 2018). Por otro lado, Ledesma-Escobar *et al.* (2016) han evaluado el efecto de pretratamientos como la liofilización, previo a la EAU en limón, mencionando que los rendimientos de extracción de algunos polifenoles son mayores, utilizando muestras liofilizadas; por consiguiente, el uso de la EAU, combinada con la liofilización, podrían maximizar la extracción de compuestos con potencial bioactivo, en las tres cucurbitáceas.

Por todo lo anterior, en este trabajo, se realizó la caracterización fisicoquímica y sensorial de la sandía vanessa, la luffa y la cassabanana. Además, se estudió el efecto de la liofilización y la EAU en el contenido de compuestos con capacidad antioxidante, polifenoles totales y contenido de vitamina C en todas las partes de las frutas, identificando el potencial de los residuos para la obtención de compuestos de alto valor.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material Vegetal. Veinte kilogramos de sandía vanessa fue adquirida en un mercado de Villavicencio, Meta. Cinco kilogramos de luffa y quince kilogramos de Cassabanana fueron adquiridas en un mercado local de Bogotá, proveniente de Huila y Cundinamarca, respectivamente. Posteriormente, fueron trasladadas a la Universidad Jorge Tadeo Lozano (UJTL), donde se almacenaron a 4 °C durante 48 horas, hasta su caracterización y procesamiento.

Caracterización fisicoquímica de la materia prima y análisis sensorial. Se evaluaron los parámetros de peso (balanza, Mettler Toledo, Switzerland) por triplicado y los diámetros ecuatorial y polar de cada fruto, con un calibrador, realizando cinco repeticiones. Se determinó la esfericidad (Φ) como la razón de los diámetros, teniendo en cuenta lo planteado por Sahin & Summu (2006).

También, se determinó el color en corteza y pulpa, 15 veces con el colorímetro triestímulo (Konica minolta, Japón). Empleando el sistema de color CIE $L^*a^*b^*$, se calculó el índice de color (IC), usando la ecuación 1, descrita por Vignoni *et al.* (2006), así como el croma (ecuación 2) y el ángulo Hue (ecuación 3), respectivamente (Sahin & Summu, 2006).

$$IC = 1000 \frac{a^*}{L^* b^*} \quad \text{ecuación 1}$$

$$C = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad \text{ecuación 2}$$

$$^{\circ}\text{Hue} = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad \text{ecuación 3}$$

Se realizó prueba sensorial a la pulpa de sandía vanessa y cassabanana, aplicándose a un panel informal de 60 personas, siguiendo una escala hedónica, donde 1 fue el valor mínimo y 9, el valor máximo que se asignaba a cada atributo; teniendo en cuenta parámetros, como apariencia, aroma, sabor y textura, de acuerdo a la guía

técnica colombiana GTC, 293:2018 (Icontec, 2018), la cual, se refiere a la realización de pruebas hedónicas con consumidores en un área controlada.

Se determinó el contenido de humedad (anализador de humedad Mettler Toledo HB43-S Halógeno, Suiza); contenido de cenizas (mufla Terrígeno, Colombia), a 550 °C durante 5 horas; pH (potenciómetro Mettler Toledo Seven Easy- S20K, China); sólidos solubles totales (SST), expresados como °Brix, utilizando un refractómetro (Atago A521636, Japón) y acidez titulable (AT) expresada en % ácido málico, titulando con NaOH 0,01N, previamente estandarizado con un patrón primario (KHP), realizando 10 lecturas por cada parte y tipo de fruta. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

Pretratamientos de la materia prima. Se separó cada parte de la fruta (corteza, semilla y pulpa) en trozos de 1 cm de espesor. El 50 % de muestra se congeló a -30 °C, para su posterior extracción y el porcentaje restante fue liofilizado, a -30 °C (Drycol, Bogotá, Colombia), en condiciones de vacío, 40 mmHg. Las muestras fueron molidas y almacenadas en desecador para su posterior extracción.

Extracción convencional y asistida con ultrasonido. Se efectuó la extracción convencional por maceración, según lo descrito por Horvitz *et al.* (2017), modificada a condiciones de laboratorio, en donde se mezclaron 2,5 g de muestra (congelada o liofilizada), con 50 mL de agua destilada y se agitó en un shaker (Heidolph, Alemania), durante 30 minutos, a 100 revoluciones por minuto (rpm), a 20 °C; posteriormente, se centrifugó (centrifuga Hettich, Alemania), a 6000 rpm durante 15 minutos, a 20 °C. Finalmente, se extrajo el sobrenadante y se repitió el procedimiento con el sedimento.

Por otra parte, se llevó a cabo la EAU (Hielscher, Alemania), conforme a lo expuesto por Başlar & Ertugay (2013), modificado a condiciones de laboratorio, en donde se agregaron 2,5 g de muestra y 50 mL de agua destilada, en un vaso precipitado, los cuales, se sometieron a sonicación, con un sonotrodo tipo H3, ciclo 1 y amplitud 50 %, durante 30 minutos, a 20 °C. En seguida, se colectó la muestra y se centrifugó a 6000 rpm, durante 15 minutos, a 20 °C; se recaudó el sobrenadante y se repitió el procedimiento con el sedimento. Todos los extractos obtenidos, se almacenaron en recipientes aislados de la luz, a 4 °C, registrando su volumen final.

Métodos de cuantificación. En los extractos, la cuantificación de compuestos con potencial bioactivo, se realizó por triplicado en tubos Eppendorf de 1,5 mL, aislados de la luz, como sigue:

Capacidad antioxidante por el método de reducción de DPPH: Se tomaron 75 µL de extracto y se trataron, según lo descrito por Brand-Williams *et al.* (1995), incubándose por 1 hora, a 37 °C. Posteriormente, se midió la absorbancia comparando el resultado con una curva patrón en µM Trolox (TE) ($R^2=0,9983$), para determinar la concentración, en términos de µmol TE/100 g fruta.

Capacidad antioxidante por el método de reducción de hierro (FRAP): Con base en el método de Benzie & Strain (1996), se trataron 30 µL de extracto, incubándose a 37 °C, por 1 hora y se midió la absorbancia a 593 nm; finalmente, se comparó con una curva de calibración ($R^2=0,9988$) de TE, cuantificando la concentración, en términos de µmol TE/100 g FF.

Determinación del contenido de vitamina C por el método colorimétrico 2-Nitroanilina: Esta prueba, se realizó siguiendo la metodología propuesta por Bernal de Ramírez (1998), tomando muestras de 100 µL de extracto, midiéndose la absorbancia 540 nm. El resultado, se comparó con una curva patrón de ácido ascórbico (AA) ($R^2=0,9988$), determinando la concentración, como mg AA/100 g FF.

Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu: A partir de 100 µL de extracto y siguiendo la cuantificación sugerida por Ainsworth & Gillespie (2007), se estableció la absorbancia a 765 nm, comparándose con una curva patrón de ácido gálico (AG), en µM ($R^2=0,9965$), para determinar la concentración, como µmol AG/100 g FF.

Análisis estadístico. Para evaluar el efecto de la liofilización y el tipo de extracción en la obtención de compuestos bioactivos, se empleó un diseño experimental bifactorial con replicación, tratando los datos en el software SigmaPlot (versión 12, SYSTAT Software). Se leyeron tres muestras de extracto por parte y tipo de tratamiento, obteniéndose, a su vez, tres repeticiones de absorbancia por muestra en el espectrofotómetro, para un total de 9 datos por combinación parte-tratamiento. Para el análisis, se emplearon dos ANOVA bidireccionales ($p < 0,05$); el primero, para evaluar el efecto del pretratamiento (fresco y liofilizado) y, el segundo, para evaluar el efecto del tipo de extracción. Mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$), se establecieron las diferencias significativas entre las posibles combinaciones de los factores evaluados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización fisicoquímica

Sandía vanessa: Como se observa en la tabla 1, los frutos de sandía vanessa presentan una forma esférica (≈ 1), con un peso superior a los 2 kg, cuyos residuos ascienden a más del 25 %. Es una fruta con alto contenido de humedad, similar a lo reportado por Tarazona-Díaz & Aguayo (2013), lo que la hace susceptible al crecimiento microbiano. Los SST en la corteza fueron similares a los reportados por Tarazona-Díaz *et al.* (2011), quienes determinaron 4,02 °Brix, para corteza de sandía Azabache; sin embargo, los SST en pulpa y la AT de esta variedad (9,6 °Brix; 0,09 % ácido málico) fueron superiores a lo reportado en el presente estudio. Por otra parte, se encontró que los valores de humedad, pH y SST son mayores en la pulpa que en la corteza, presentando la corteza mayor AT y cenizas. El índice de color en la pulpa está entre el naranja intenso al rojo profundo (Vignoni *et al.* 2006); los valores de ángulo Hue fueron similares a los reportados por Tarazona-Díaz *et al.* (2011), en pulpa de sandía variedad Fashion y motril.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de la sandía vanessa, cassabanana y luffa.

	sandía vanessa		cassabanana			luffa		
Peso (kg)	2,26±0,17		1,81±0,92			0,81±0,75		
Diámetro Ecuatorial (cm)	131,02±9,16		8,25±0,472			60,33±10,14		
Diámetro Polar (cm)	173,59±7,13		33,59±2,97			327,2±31,32		
Esfericidad (Φ)	0,94±0,07		0,25±0,03			0,18±0,02		
	pulpa	corteza	pulpa	corteza	semilla	pulpa	corteza	semilla
% En la fruta	71,7	28,3	74,61	21,92	3,47	31,24	53,13	15,63
%Humedad	90,94±0,86	88,55±2,57	85,42±0,99	74,23±3,42	35,28±2,29	90,42±1,82	89,15±1,29	79,97±0,18
pH	5,77±0,06	5,73±0,06	6,20±0,0	6,70±0,0	6,30±0,10	5,90±0,0	6,13±0,06	6,50±0,0
SST (°Brix)	7,9±0,1	4,0±0,2	7,8±0,4	5,7±3,2	0,1±0,1	10,8±0,1	9,5±0,1	8,4±0,3
AT (% ácido málico)	0,01±0,001	0,02±0,001	0,11±0,01	0,05±0,01	0,01±0,001	0,01 ±0,002	0,03±0,02	0,02±0,002
% Cenizas	0,26±0,02	0,69±0,02	0,93±0,05	1,20±0,11	2,44±0,11	0,51±0,06	0,77±0,21	0,97±0,12
L*	69,87±0,75	67,77±0,68	73,32±0,94	103,76±1,25	-	70,39±11,36	106, 86±1,29	-
a*	17,87±1,47	7,51±0,31	-0,48±1,39	12,12±3,44	-	-7,66±3,14	-2,13±0,22	-
b*	9,60±0,55	5,26±0,85	51,40±1,81	-5,06±2,00	-	25,12±7,70	1,15±1,14	-
IC	27,25±3,12	25,07±2,44	-0,13±0,37	-28,95±20,85	-	-4,40±1,41	-13,96±16,37	-
Croma	20,41±1,42	9,42±0,67	51,47±1,78	13,44±2,41	-	26,31±8,14	3,21±0,39	-
°Hue	29,08±1,72	33,3±3,73	130,51±21,92	359,56±0,24	-	178,72±0,07	179,91±0,40	-

SST: sólidos solubles totales; AT: acidez titulable

Cassabanana: La cassabanana presentó una forma alargada y poco ovalada; los diámetros ecuatorial y polar son similares a los reportados por De Paula Filho *et al.* (2015). En términos de las partes, la corteza y la semilla componen más del 25 % en peso, fracción actualmente desechada. Por otro lado, los SST y las cenizas en pulpa fueron superiores a lo reportado por De Paula Filho *et al.* (2015), quienes encontraron elementos, como K, Mg y Ca, considerando la cassabanana, como una fuente potencial de minerales. Los colores de la corteza varían del rojo anaranjado a púrpura oscuro, mientras que la pulpa abarca colores cercanos al amarillo verdoso (Vignoni *et al.* 2006) (Tabla 1).

Luffa: La luffa, se caracterizó por su forma alargada, representado por un valor de esfericidad alejado a la unidad. El 65 % en peso del fruto equivale a corteza y semilla. Es de resaltar que la utilización de este fruto es casi nula, por lo que se suele desechar completamente. Por ello, el propósito de evaluar esta curcubitácea es dar a conocer la composición y la posible utilización de esta fruta, en la obtención de extractos útiles en la industria alimentaria. La luffa presentó un alto contenido de humedad, similar a lo reportado en diferentes tipos de luffa (Kandoliya *et al.* 2016). La pulpa presentó mayor valor de SST, menor pH y AT que la corteza y la semilla, presentando, esta última, mayor contenido de cenizas.

El índice de color (IC) en pulpa de luffa fue más cercano al verde amarillento, con una mayor intensidad de color (croma), mientras que el IC de la corteza fue próximo al verde profundo (Vignoni *et al.* 2006).

En las tres cucurbitáceas, se encontró que los SST fueron mayores en la pulpa que en la corteza, debido a cambios composicionales, como la conversión de almidón a azúcar y cambios en los ácidos orgánicos, ocasionados durante la precosecha y postcosecha de la fruta.

Análisis sensorial. La prueba sensorial fue dirigida a medir la percepción total de agrado del producto por parte de los 60 consumidores o catadores (GTC, 293, 2018). Se utilizó una escala hedónica de 1 a 7, donde, 1 = me disgusta mucho; 2 = me disgusta moderadamente; 3 = Me disgusta un poco; 4 = ni me gusta ni me disgusta; 5 = me gusta poco; 6 = me gusta moderadamente; 7 = me gusta mucho. Tomando como límite del consumo en la escala hedónica la calificación de 4 = ni me gusta ni me disgusta.

Tanto la sandía como la cassabanana presentaron buena aceptación sensorial en los atributos evaluados, que estuvieron por encima de 5, siendo los de mayor valor la textura y la apariencia para la sandía, así como el aroma, para la cassabanana (todas estas características

Tabla 2. Aumento porcentual en el contenido de compuestos de interés en muestras liofilizadas con respecto a muestras frescas por tipo de extracción.

		DPPH (%)	FRAP (%)	Vitamina C (%)	Polifenoles (%)
Extracción convencional					
Sandía	Pulpa	98	10	759	183
	Corteza	134	75	100	1749
Luffa	Pulpa	145	184*	480	100
	Corteza	35*	82	28	53*
	Semilla	189	44**	219*	6**
Cassabanana	Pulpa	34	50*	100	4
	Corteza	7	6	38*	9
	Semilla	40*	55*	24	11
Extracción asistida por ultrasonido					
Sandía	Pulpa	13*	12	97	887
	Corteza	114	125	1418	100
Luffa	Pulpa	34	12**	0.01	100
	Corteza	8**	27	16	967
	Semilla	68	30	45	1140
Cassabanana	Pulpa	51	23	18	789
	Corteza	1	11*	31**	824
	Semilla	20	37	444**	1662

*Indica mejores resultados usando el pretratamiento en fresco.

**No hay diferencia significativa entre los pretratamientos.

con un valor de 7 ± 2). La cassabanana es una fruta de baja popularidad y, por lo tanto, su consumo es inusual; por ello, es importante dar a conocer su composición y sus propiedades, para aumentar su ingesta. Adicionalmente, el sabor de ambas frutas tuvo una evaluación de 6 ± 2 .

Efecto de la liofilización en la extracción de compuestos bioactivos. La tabla 2 muestra el aumento porcentual en el contenido de compuestos de interés en muestras liofilizadas con respecto a muestras frescas, por tipo de extracción. Se realizaron muestras frescas con ultrasonido y se determinó antioxidantes, polifenoles y vitamina C; estos resultados, se compararon con muestras liofilizadas con ultrasonido y se determinó el aumento porcentual, en los valores de los compuestos bioactivos. De igual manera, se realizó con muestras frescas con tratamiento convencional y se comparó con las muestras liofilizadas con el tratamiento convencional.

Como se presenta en la tabla 2, la liofilización mejoró la obtención de los compuestos con potencial bioactivo en casi todas las partes, bajo extracción convencional y EAU. Tal aumento, se atribuye a la formación de poros en la matriz vegetal durante la liofilización, lo que permitió una mayor difusión de los solutos de interés; este efecto de la liofilización en la extracción de compuestos ya había sido documentado por Unterlander *et al.* (2017), en la extracción de proteínas solubles y enzimas a partir de microalgas.

Adicionalmente, la liofilización actúa mediante sublimación, utilizando vacío a bajas temperaturas, lo cual, reduce la pérdida

de compuestos volátiles o termosensibles, conservando su funcionalidad biológica y concentrando los compuestos de interés. Por consiguiente, se recomienda el uso de la liofilización en las muestras de sandía, luffa y cassabanana, como tratamiento previo a la extracción de compuestos bioactivos.

Cuantificación de compuestos bioactivos en muestras liofilizadas mediante extracción convencional y EAU. En general, las cuantificaciones realizadas no mostraron una tendencia clara frente al tipo de extracción. Por un lado, el 31,2 % de los resultados evidenciaron mejoras en la obtención de compuestos de interés, a través de la extracción convencional, mientras que el 34,4 %, respaldan el uso de EAU. Adicionalmente, el 34,4 % de los resultados no evidenciaron cambios significativos en la concentración, según el tipo de extracción; tales discrepancias pueden estar influenciadas por la naturaleza de los tejidos (Mandal *et al.* 2015) y del compuesto a extraer.

En el caso de la EAU, el uso de ultrasonido altera propiedades fisicoquímicas, como los SST y el pH (Porras *et al.* 2011), que se refleja en las cuantificaciones realizadas, puesto que no en todos los casos este tipo de extracción resulta favorable, tal como lo demuestra Flores (2017), en su investigación, donde la extracción convencional tuvo mejores resultados en antioxidantes, a partir de bayas de sauco. Por otra parte, las condiciones de extracción, como frecuencia, amplitud, pH, temperatura y tiempo de ciclo, pueden cambiar según el tipo de tejido y analito a evaluar (Campo-Vera *et al.* 2018), lo que, en este estudio, favorece la extracción de algunos compuestos y la degradación de otros.

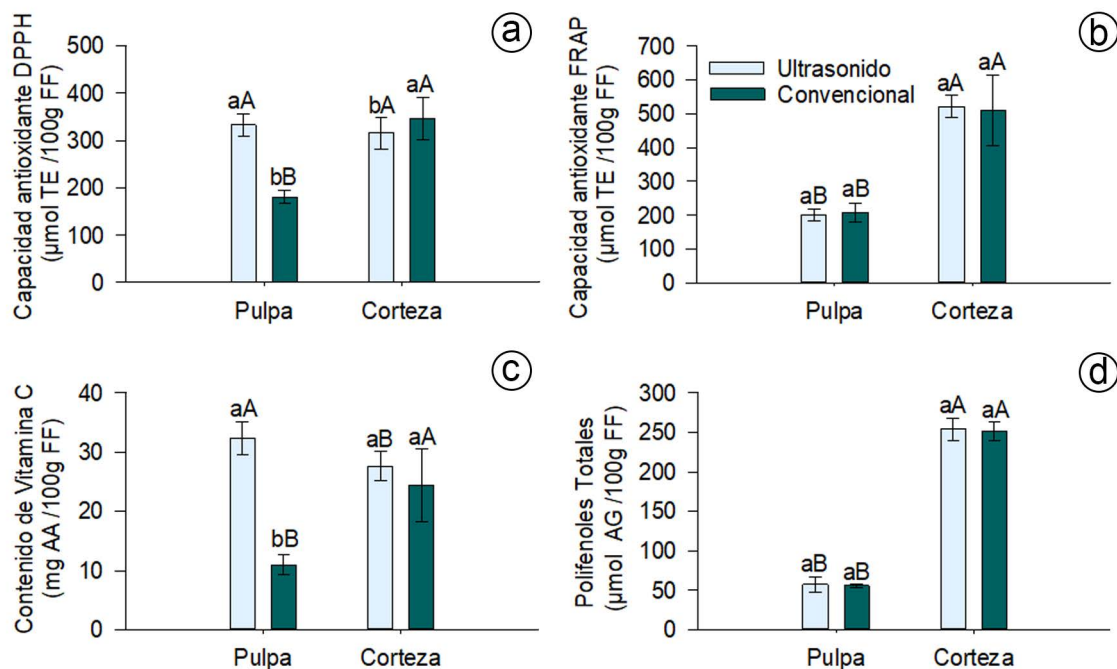


Figura 1. Cuantificación de compuestos bioactivos en las diferentes partes de sandía vanessa. a) Capacidad antioxidante método DPPH; b) Capacidad antioxidante método FRAP; c) Contenido de vitamina C; d) Polifenoles totales. Letras minúsculas comparan dentro de la misma parte las extracciones convencional y ultrasonido. Letras mayúsculas comparan entre las diferentes partes de una fruta un mismo tipo de extracción. Letras iguales indican que no hay diferencias significativas y letras distintas indican diferencias significativas entre las comparaciones, según prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Con respecto a las partes de cada fruto, el 50 % de las comparaciones demuestran que la corteza es la fracción con mayor cantidad de compuestos con potencial bioactivo, seguido por la semilla, con un 25 %. Por lo cual, los residuos de sandía, luffa y cassabanana pueden ser aprovechados para la generación de productos con valor agregado. Los resultados para cada fruta en específico, se presentan a continuación.

Sandía Vanessa: La capacidad antioxidante medida por el método DPPH evidenció que el uso de la EAU mejora la obtención de compuestos en la pulpa (Figura 1a); este valor es superior a lo reportado por Valle-Vargas *et al.* (2020), para pulpa de sandía variedad Crimson Sweet. Por otra parte, en la corteza, la extracción convencional tuvo un mejor comportamiento, mostrando resultados similares a los registrados para corteza de sandía Crimson sweet, Jubilee y Santa Amelia (Valle-Vargas *et al.* 2020).

El tipo de extracción no afectó la capacidad antioxidante, determinada por el ensayo FRAP (Figura 1b); sin embargo, en esta prueba, la corteza presentó una concentración mayor comparada con la pulpa. Los valores obtenidos en la pulpa son similares a lo reportado en pomelo y mayor a lo reportado en guatila (Ruiz-Torralba *et al.* 2018).

Aunque las pruebas antes mencionadas miden capacidad antioxidante, ambas presentaron comportamientos distintos, ya que actúan con diferentes mecanismos de reacción; el ensayo FRAP, se basa en la reducción de Fe^{+3} a Fe^{+2} , en condiciones ácidas (Benzie & Strain, 1996), mientras que DPPH, se basa en la aceptación de

hidrógenos (reducción de DPPH a $DPPH^{\cdot-}$) (Brand-Williams *et al.* 1995). Además, cabe resaltar que los rendimientos y la velocidad de reacción varían dependiendo de los compuestos antioxidantes y su relación muestra/reactivo (Fatiha & Abdelkader, 2019). Por consiguiente, es posible que los compuestos extraídos en la pulpa de sandía por medio de EAU sean de mayor detección en el ensayo DPPH que en el FRAP.

La concentración de vitamina C en las partes de sandía, se vio afectada por el tipo de extracción, siendo la EAU la que reportó los mejores resultados. Por otro lado, la pulpa fue la parte con mayor contenido de vitamina C, superando lo registrado por la USDA, para esta fruta (USDA, 2020) (Figura 1c).

Conforme a las figuras 1b y 1d, la cuantificación de polifenoles totales tuvo un comportamiento similar al método de FRAP: no se encontraron diferencias significativas entre el tipo de extracción para ninguna de las partes y la corteza, se destacó como la parte con mayor contenido de compuestos bioactivos.

En la prueba de polifenoles, los valores obtenidos en la corteza son superiores a lo reportado por Valle-Vargas *et al.* (2020), para corteza variedad Santa Amelia, mientras que los resultados de pulpa de esta variedad, se asemejan a la pulpa de sandía del presente estudio.

Luffa cylindrica: Como se observa en la figura 2a, la extracción convencional favorece la obtención de compuestos con capacidad antioxidante, medidos por ensayo DPPH. En esta prueba, la pulpa y la corteza presentaron mayores concentraciones, siendo estos

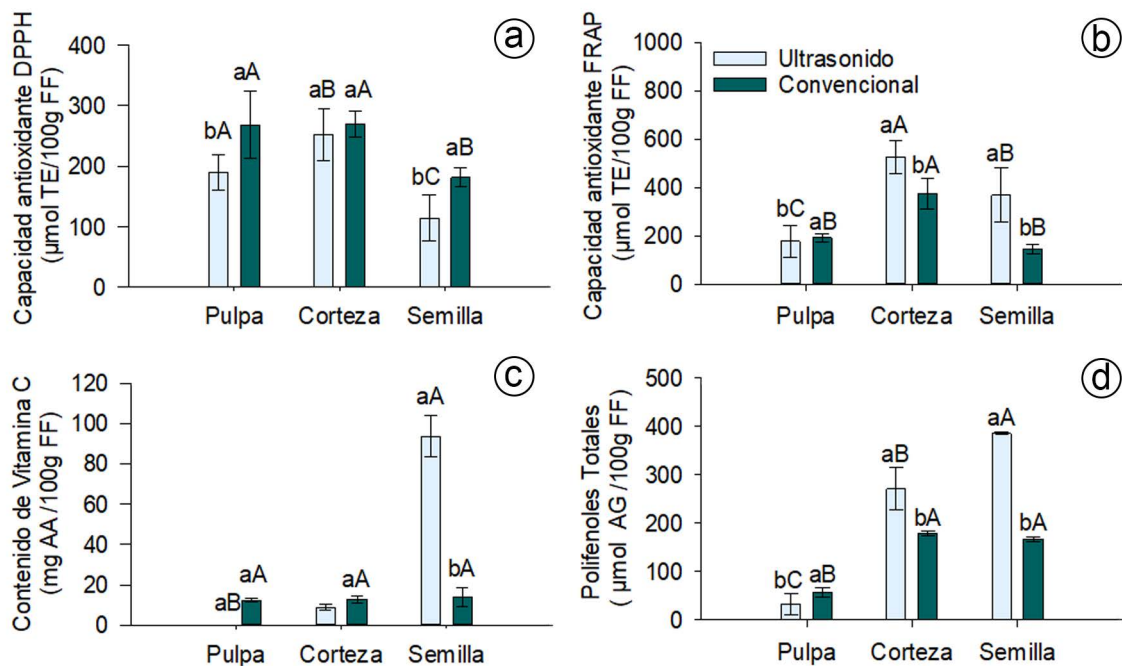


Figura 2. Cuantificación de compuestos bioactivos en las diferentes partes de luffa. a) Capacidad antioxidante método DPPH; b) Capacidad antioxidante método FRAP; c) Contenido de vitamina C; d) Polifenoles totales. Letras minúsculas comparan dentro de la misma parte las extracciones convencional y ultrasonido. Letras mayúsculas comparan entre las diferentes partes de una fruta un mismo tipo de extracción. Letras iguales indican que no hay diferencias significativas y letras distintas indican diferencias significativas entre las comparaciones, según prueba de Tukey ($p < 0,05$).

valores superiores a lo reportado por Ruiz-Torralba *et al.* (2018), para cereza y papaya. Por el contrario, para el ensayo de FRAP, el uso de la EAU expresó un mejor comportamiento (Figura 2b), en la corteza y la semilla de luffa. Tales diferencias entre cuantificaciones de capacidad antioxidante, se pueden explicar por los diversos mecanismos de reacción en cada uno de los ensayos.

Como se observa en la figura 2c, solo la semilla de luffa presentó diferencias significativas en el contenido de vitamina C con respecto al tipo de extracción; tal resultado fue mayor a lo reportado por Kandoliya *et al.* (2016), para la pulpa de *Luffa acutangula* cv. Pusa Nasdar.

Como se aprecia en la figura 2d, hay una mayor obtención de polifenoles totales en corteza y en semilla de luffa con la utilización de la EAU (comportamiento similar al evidenciado para capacidad antioxidante por método FRAP); por el contrario, la pulpa de luffa presentó mejores resultados con extracción convencional. El contenido de polifenoles totales fue mayor para la semilla; sin embargo, los datos obtenidos para esta son menores a lo reportado por Mishra *et al.* (2018), en semilla de *Luffa cylindrica*.

Cassabanana: La capacidad antioxidante, medida por los ensayos DPPH y FRAP (Figura 3a y 3b), evidenciaron que el uso de la EAU mejoró la obtención de compuestos en la semilla; además, la corteza fue la parte que presentó mayor capacidad antioxidante. La extracción convencional presentó un mejor comportamiento conforme al ensayo FRAP, donde los resultados fueron inferiores a los encontrados para mora y arándano (Ruiz-Torralba *et al.* 2018).

Por otro lado, los resultados para este fruto superaron lo determinado para otras cucurbitáceas, como el melón Cantaloup, en el ensayo DPPH (Ruiz-Torralba *et al.* 2018).

La extracción convencional favoreció el contenido de vitamina C en pulpa y en semilla de cassabanana (Figura 3c), siendo la semilla la parte, con mayor contenido de AA. Los resultados en pulpa son mayores a los reportados por De Paula Filho *et al.* (2015), para la *Sicana odorifera*.

De manera similar a lo expuesto por el ensayo FRAP (Figura 3b), el contenido de polifenoles totales (Figura 3d) evidenció una mejora en la semilla, mediante la EAU, mientras que la corteza (la parte con mayor contenido de polifenoles totales) tuvo un mejor resultado, bajo extracción convencional. Contreras-Calderón *et al.* (2011) reportaron para la corteza, la semilla y la pulpa de cassabanana valores inferiores a los del presente estudio; esta diferencia, se atribuye al estado de madurez del fruto. En cuanto al contenido de polifenoles totales en corteza, Ordoñez *et al.* (2019) también mencionan haber encontrado mayores concentraciones de sustancias químicas en la corteza de frutas, como cacao, tuna, uva y uvilla.

Al comparar los tres materiales estudiados, se evidenció que la pulpa de sandía vanessa tiene mayor capacidad antioxidante (DPPH) que la Luffa y la cassabanana, con valores de $332,82 \pm 23,08 \mu\text{mol TE}/100 \text{g FF}$. Estos datos demuestran la importancia del consumo de pulpa de sandía, como fuente antioxidante.

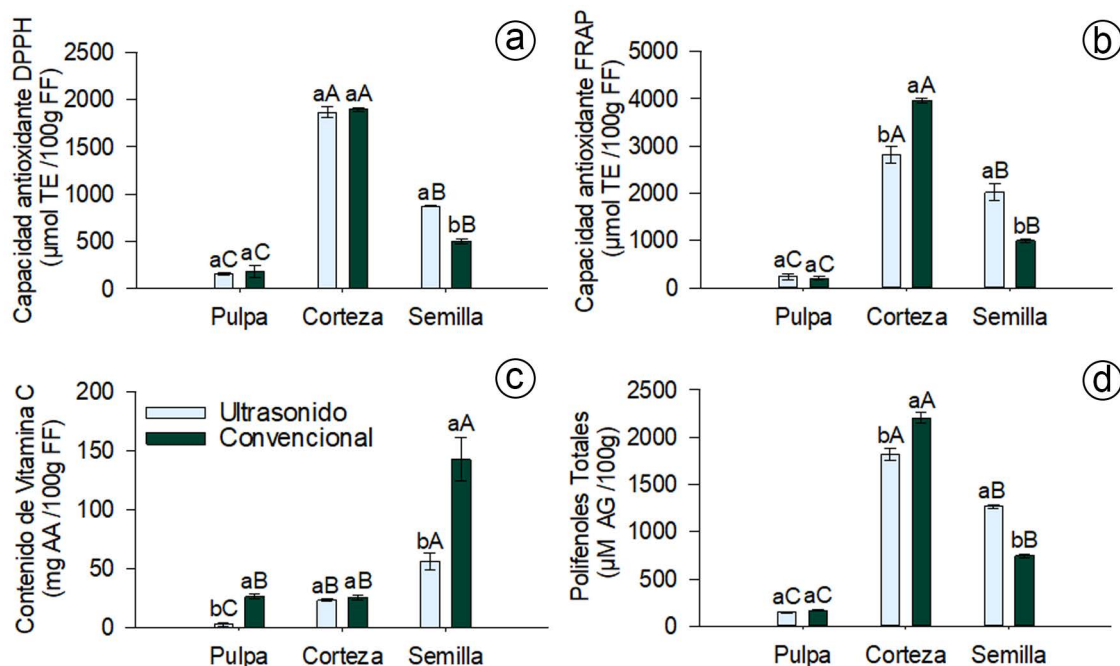


Figura 3. Cuantificación de compuestos bioactivos en las diferentes partes de cassabanana. A) Capacidad antioxidante método DPPH; B) Capacidad antioxidante método FRAP. C. Contenido de vitamina C; D) Polifenoles totales. Letras minúsculas comparan dentro de la misma parte las extracciones convencional y ultrasonido. Letras mayúsculas comparan entre las diferentes partes de una fruta un mismo tipo de extracción. Letras iguales indican que no hay diferencias significativas y letras distintas indican diferencias significativas entre las comparaciones, según prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Mientras que en la corteza la cassabanana aporta mayor valor de antioxidantes (DPPH), con $1866,95 \pm 18,25$ $\mu\text{mol TE}/100$ g FF, sin presentar diferencias significativas entre el tratamiento con ultrasonido y el convencional; también presentó mayor valor con el método FRAP ($3964,98 \pm 45,66$ $\mu\text{mol TE}/100$ g FF). En cuanto a las semillas, la cassabanana igualmente presentó un alto contenido de antioxidantes por el método DPPH ($873,05 \pm 7,24$ $\mu\text{mol TE}/100$ g FF) y FRAP ($2023,29 \pm 168,81$ $\mu\text{mol TE}/100$ g FF). Además de ello, la cassabanana aportó el mayor contenido de polifenoles ($169,59 \pm 9,97$ $\mu\text{mol AG}/100$ g FF) que las demás cucurbitáceas estudiadas, como la Luffa y la sandía vanessa. Esto demuestra que el consumo de cassabanana puede tener beneficios en la salud de los consumidores, debido a que los polifenoles también son antioxidantes, atrapan los radicales libres, evitando que se adhieran a las moléculas de ácido desoxirribonucleico (ADN) y las dañen.

Este estudio permitió caracterizar cucurbitáceas, como la sandía variedad vanessa, la luffa y la cassabana, de las cuales, no se tenía información disponible en cuanto a su valor nutricional, como antioxidantes, polifenoles y vitamina C. Se concluye que la pulpa de sandía es fuente de antioxidantes y la cassabanana fuente de polifenoles a la dieta. Además, tanto las semillas como la corteza de la cassabanana son una fuente importante de antioxidantes y polifenoles, lo cual, se podría utilizar como extractos bioactivos en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética. El tratamiento de liofilización mejoró la extracción % en capacidad antioxidante, vitamina C y polifenoles totales, comparado con las muestras frescas.

Conflictos de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Este estudio fue financiado por la Universidad Jorge Tadeo Lozano.

REFERENCIAS

1. AINSWORTH, E.A.; GILLESPIE, K.M. 2007. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using folin-ciocalteu reagent. *Nature protocols*. 2(4):875-877. <https://doi.org/10.1038/nprot.2007.102>
2. BAŞLAR, M.; ERTUGAY, M.F. 2013. The effect of ultrasound and photosonication treatment on polyphenoloxidase (PPO) activity, total phenolic component and colour of apple juice. *Internal Journal of Food Science and Technology*. 48(4):886-892. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12015>
3. BENZIE, I.F.F.; STRAIN, J.J. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "Antioxidant Power": the FRAP. *Analytical Biochemistry*. 239(1):70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
4. BERNAL DE RAMÍREZ, I. 1998. Frutas y hortalizas y sus productos. En: *Análisis de alimentos* (3rd ed.). Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (Bogotá). p.69-124.
5. BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M.E.; BERSET, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*. 28(1):25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
6. CAMPO-VERA, Y.; GÉLVEZ-ORDOÑEZ, V.M.; AYALA-APONTE, A. 2018. Ultrasonido en el procesamiento (homogeneización, extracción y secado) de alimentos. *Biología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 16(1):102-113. <http://dx.doi.org/10.18684/bsaa.v16n1.628>
7. CONTRERAS-CALDERÓN, J.; CALDERÓN-JAÍMES, L.; GUERRA-HERNÁNDEZ, E.; GARCÍA-VILLANOVA B. 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. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.003>
8. DE PAULA FILHO, G.X.; BARREIRA, T.; PINHEIRO, S.; DE MORAIS CARDOSO, L.; DUARTE, H.; PINHEIRO-SAN'ANA, H.M. 2015. "Melão croá" (*Sicana sphaerica* Vell.) and "maracujina" (*Sicana odorifera* Naud.): Chemical composition, carotenoids, vitamins and minerals in native fruits from the Brazilian Atlantic forest. *Fruits*. 70(6):341-349. <https://doi.org/10.1051/fruits/2015035>
9. FATIHA, M.; ABDELKADER, T. 2019. Study of antioxidant activity of pyrimidinium betaines by DPPH radical scavenging method. *Journal Analytical & Pharmaceutical Research*. 8(2):33-36. <http://doi.org/10.15406/japlr.2019.08.00308>
10. FLORES, E. 2017. Extracción de antioxidantes de las bayas de sauco (*Sambucus nigra* L. subsp. *peruviana*) con ultrasonido, microondas, enzimas y maceración para la obtención de zumos funcionales. *Información tecnológica*. 28(1):121-132. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000100012>
11. HORVITZ, S.; CHANAGUANO, D.; AROZARENA, I. 2017. Andean Blackberries (*Rubus glaucus* Benth) quality as affected by harvest maturity and storage conditions. *Scientia Horticulturae*. 226:293-301. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.002>
12. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS, ICONTEC. 2018. Guía Técnica Colombiana GTC 293:2018. Análisis sensorial. Metodología. Guía general para la realización de pruebas hedónicas con consumidores en un área controlada. 49p.

13. KANDOLIYA, U.K.; MARVIYA, G.V.; BODAR, N.P.; BHADJA, N.V.; GOLAKIYA, B. 2016. Nutritional and antioxidant components of Ridge Gourd (*Luffa acutangula* L. Roxb). fruits of promising genotypes and varieties. Scholars Journal of Agriculture and Veterinary Sciences. 3(5):397-401.
<http://doi.org/10.21276/sjavs.2016.3.5.9>
14. KRIS-ETHERTON, P.M.; LEFEVRE, M.; BEECHER, G.R.; GROSS, M.D.; KEEN, C.L.; ETHERTON, T.D. 2004. Bioactive compounds in nutrition y health research methodologies for establishing biological function: The antioxidant y anti-inflammatory effects of flavonoids on atherosclerosis. Annual Review of Nutrition. 24:511-538.
<http://doi.org/10.1146/annurev.nutr.23.011702.073237>
15. LEDESMA-ESCOBAR, C.A.; PRIEGO-CAPOTE, F.; LUQUE DE CASTRO, M.D. 2016. Effect of sample pretreatment on the extraction of lemon (*Citrus limon*) components. Talanta. 153:386-391.
<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2016.03.024>
16. MANDAL, S.C.; MANDAL, V.; DAS, A.K. 2015. Chapter 6-Classification of extraction methods. En: Essentials of botanical extraction. Academic Press (Londres). p.83-136.
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802325-9.00006-9>
17. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, MINAGRICULTURA. 2018. Red de información y comunicación del sector agropecuario colombiano. Disponible desde Internet en:
<https://www.agronet.gov.co/Paginas/inicio.aspx> (con acceso el 27/09/2019)
18. MISHRA, S.K.; YADAV, B.; UPADHYAY, P.; KUMAR, P.; SINGH, C.; DIXIT, J.; TIWARI, K.N. 2018. LC-ESI MS/MS profiling, antioxidant and anti epileptic activity of *Luffa cylindrica* (L.) Roem extract. Journal of Pharmacology and Toxicology. 13(1):1-18.
<https://doi.org/10.3923/jpt.2018.1.18>
19. ORDOÑEZ, E.S.; LEON-AREVALO, A.; RIVERA-ROJAS, H.; VARGAS, E. 2019. Cuantificación de polifenoles totales y capacidad antioxidante en cáscara y semilla de cacao (*Theobroma cacao* L.), tuna (*Opuntia ficus indica* Mill), uva (*Vitis vinifera*) y uvilla (*Pourouma cecropiifolia*). Scientia Agropecuaria. 10(2):175-183.
<https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.02.02>
20. OZUNA, C.; LEÓN-GALVÁN, M.F. 2017. Cucurbitaceae seed protein hydrolysates as a potential source of bioactive peptides with functional properties. BioMed Research International. 1-16.
<https://doi.org/10.1155/2017/2121878>
21. PEÑARANDA GONZALEZ, L.V.; MONTENEGRO GÓMEZ, S.P.; GIRALDO ABAD, P.A. 2017. Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. Revista de investigación agraria y ambiental. 8(2):141-150.
22. PORRAS, O.O.; GONZÁLEZ, G.; CASTELLANOS, A.; BALLESTEROS, J.; PACHECO, M. 2011. Efecto de la aplicación de ondas de ultrasonido sobre las propiedades fisicoquímicas, reológicas y microbiológicas de pulpa de mango (*Mangifera indica* L.) variedad común. Revista Alimentos Hoy. 20(23):53-78.
23. RUIZ-TORRALBA, A.; GUERRA-HERNÁNDEZ, E.J.; GARCÍA-VILLANOVA, B. 2018. Antioxidant capacity, polyphenol content and contribution to dietary intake of 52 fruits sold in Spain. CyTA – Journal of Food. 16(1):1131-1138.
<https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1517828>
24. SAHIN, S.; SUMMU, S.G. 2006. Size, Shape, Volume, and Related Physical Attributes. En: Physical Properties of Foods. Ed. Springer. p.1-37.
<https://doi.org/10.1007/0-387-30808-3>
25. SCHAFFER, A.A.; PARIS, H.S. 2016. Melons, Squashes, and Gourds. Reference Module in Food Science. 1:1-9.
<https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.03426-0>
26. TARAZONA-DÍAZ, M.P.; AGUAYO, E. 2013. Assessment of by-products from fresh-cut products for reuse as bioactive compounds. Food Science and Technology Internal. 19(5):439-446.
<https://doi.org/10.1177/1082013212455346>
27. TARAZONA-DÍAZ, M.P.; VIEGAS, J.; MOLDAO-MARTINS, M.; AGUAYO, E. 2011. Bioactive compounds from flesh and by-product of fresh-cut watermelon cultivars. Journal of the Science of Food and Agriculture. 91(5):805-812.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.4250>
28. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, USDA. 2020. FoodData Central. Disponible desde Internet en: <https://fdc.nal.usda.gov/> (con acceso el 26/06/2020).
29. UNTERLANDER, N.; CHAMPAGNE, P.; PLAXTON, W.C. 2017. Lyophilization pretreatment facilitates extraction of soluble proteins and active enzymes from the oil-accumulating microalga *Chlorella vulgaris*. Algal Research. 25:439-444.
<https://doi.org/10.1016/j.algal.2017.06.010>
30. URQUIZA-MARTÍNEZ, M.V.; FENTON NAVARRO, B. 2016. Antioxidant Capacity of Food. Free Radicals and Antioxidants. 6(1):1-12.
<http://doi.org/10.5530/fra.2016.1.1>

31. VALLE-VARGAS, M.F.; DURÁN-BARÓN, R.; QUINTERO-GAMERO, G.; VALERA, R. 2020. Caracterización fisicoquímica, químico proximal, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de pulpa y corteza de sandía (*Citrullus lanatus*). Información Tecnológica. 31(1):21-28. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000100021>
32. VIGNONI, L.A.; CÉSARI, R.M.; FORTE, M.; MIRÁBILE, M.L. 2006. Determinación de índice de color en ajo picado. Información Tecnológica. 17(6):63-67. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642006000600011>
33. WEN, C.; ZHANG, J.; ZHANG, H.; DZAH, C.S.; ZANDILE, M.; DUAN, Y.; MA, H.; LUO, X. 2018. Advances in ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from cash crops - A review. Ultrasonics Sonochemistry. 48:538-549. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.07.018>