

Perspectivas de valorización de residuos de frutas a partir de sus características físicas

Prospects for the fruit byproducts recovery based on their physical characteristics

 Danya Katherine Jurado-Erazo¹  Yanela Alexandra Tulcán-Cuasapud¹
 Andrés Felipe Rojas González¹

¹ Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia.

*Autor de correspondencia: Andrés Felipe Rojas González. Universidad Nacional de Colombia, km 9 vía al Aeropuerto La Nubia, Manizales, Caldas, Colombia.
anfrojaso@unal.edu.co

Recibido: 21 de abril de 2022
Aprobado: 24 de febrero de 2023
Publicado: 28 de abril de 2023

Editor temático: Juan Camilo Henao, (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]), Antioquia, Colombia.

Para citar este artículo: Jurado-Erazo, D. K., Tulcán-Cuasapud, Y. A., & Rojas González, A. F. (2023). Perspectivas de valorización de residuos de frutas a partir de sus características físicas. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(1), e3016.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:3016

Resumen: Este artículo busca establecer las perspectivas de valorización de 9 semillas y 12 cáscaras de frutas a partir de sus propiedades físicas. Estos residuos se caracterizaron respecto a: índice de generación de residuos (IGR), tamaño de partícula, espesor, esfericidad, densidad (partícula y granel), humedad total, dureza y madurez (escala de color). Al analizar los resultados de estas características físicas, se establecieron las posibilidades de aprovechamiento para la obtención de alimentos comestibles, harinas, pigmentos, compostaje, extracción de aceites y carbón activado. Se encontró que el IGR de las cáscaras y semillas se encuentra entre 11,91-55,61 % y 2,08-13,95 %, respectivamente. Las semillas presentaron tamaños de partícula de 0,38-4,21 cm, esfericidades entre 0,42-0,90, densidad de partícula de 0,91-1,43 g/mL, densidades a granel entre 0,85-1,08 g/mL y humedad total de 31,42-84,71 %; mientras que las cáscaras presentaron espesores de 0,08-0,80 cm, densidades entre 0,94-1,19 g/mL, durezas desde 54,49 N a valores mayores de 118,43 N y contenido de humedad total de 15,19-94,44 %. Se concluye que las cáscaras se generan en mayor cantidad que las semillas y se recomienda aprovechar estos residuos en conjunto. Además, las características físicas de los residuos afectan la alternativa de aprovechamiento y valorización. Por lo tanto, los residuos de frutas se pueden aprovechar en la obtención de alimentos comestibles, harinas, pigmentos, biofertilizantes, aceites vegetales y carbón activado; y se recomienda realizar otros análisis como: el análisis termogravimétrico, elemental, poder calorífico, bromatológico, determinación de curvas de adsorción y porosidad, para revalidar los posibilidades de aprovechamiento y valorización anteriormente mencionadas.

Palabras clave: residuos agroindustriales, cáscaras de frutas, semillas de frutas, características físicas, valorización de residuos, aprovechamiento de residuos.

Abstract: This article seeks to establish the prospects for the valorization of 9 seeds and 12 fruit peels based on their physical properties. These residues were characterized with respect to: residue generation index (RGI), particle size, thickness, sphericity, density (particle and bulk), total moisture, hardness and maturity (color scale). By analyzing the results of these physical characteristics, the possibilities of utilization for obtaining edible foods, flours, pigments, composting, oil extraction and activated carbon were established. It was found that the IGR of shells and seeds was between 11.91-55.61 % and 2.08-13.95 %, respectively. Seeds presented particle sizes of 0.38-4.21 cm, sphericities between 0.42-0.90, particle density of 0.91-1.43 g/mL, bulk densities between 0.85-1.08 g/mL and total moisture of 31.42-84.71 %; while the shells presented thicknesses of 0.08-0.80 cm, densities between 0.94-1.19 g/mL, hardnesses from 54.49 N to values greater than 118.43 N and total moisture content of 15.19-94.44 %. It is concluded that shells are generated in greater quantity than seeds and it is recommended to use these residues together. In addition, the physical characteristics of the residues affect the alternative of utilization and valorization. Therefore, fruit residues can be used to obtain edible foods, flours, pigments, biofertilizers, vegetable oils and activated carbon; and it is recommended to perform other analyses such as: thermogravimetric, elemental, calorific value, bromatological, determination of adsorption curves and porosity, to revalidate the possibilities of utilization and valorization mentioned above.

Keywords: Fruits byproducts, fruit peels, fruit seeds, physical characteristics, waste valorization, waste utilization.



Introducción

La industria colombiana emplea diferentes tipos de frutas como materia prima en la elaboración de productos alimenticios, cosméticos, farmacéuticos y químicos (Mejía & Morales, 2016). De la industria colombiana, el sector agroindustrial se caracteriza por su gran demanda de frutas; para el año 2015 esta demanda fue aproximadamente de 250 mil toneladas (Palacio, 2017). Así, este sector económico emplea las frutas para el uso principal de la pulpa, debido a sus componentes nutritivos y bioactivos, con el propósito de fabricar salsas, congelados, liofilizados, conservas, aditivos, deshidratados, pulpas, jugos y néctares, dejando parte de la fruta como residuo.

Estos residuos están constituidos por cáscaras, semillas, pulpa, membranas, hojas, pedúnculos, bagazos, etc., los cuales representan alrededor del 50 % de la fruta fresca (Grajales et al., 2017). Una pequeña parte de estos residuos son empleados en la elaboración de alimento para animales y abonos agrícolas o, en su mayoría, llevados a rellenos sanitarios como residuo orgánico (Mejía & Morales, 2016), sin embargo, se han realizado estudios para establecer las posibilidades de aprovechamiento de los residuos de frutas en la elaboración de bioplásticos (Pizá et al., 2017), harina y aceites (Al-Sayed & Ahmed, 2013), biocombustibles (Asokan et al., 2021), carbón activado, esencias, saborizantes, colorantes, antioxidantes, entre otros productos (Yaradoddi et al., 2021).

Las cáscaras y las semillas de frutas poseen características únicas, debido a que depende de la fruta de la cual proceden. Para evaluar las alternativas o las posibilidades de aprovechamiento o valorización de estos residuos, se requiere conocer o establecer sus características o propiedades físicas, químicas o biológicas. El conocimiento de las propiedades físicas de las cáscaras y semillas no solamente permite establecer las alternativas de aprovechamiento, sino que también permite la selección inicial de las frutas a procesar y el diseño de operaciones, procesos y equipos requeridos para el procesamiento de las frutas y el tratamiento de los residuos. Las propiedades estructurales (textura, dureza, resistencia, espesor, tamaño), colorimétricas, dinámicas (esfericidad), de almacenamiento (densidad de partícula, tamaño de partícula y porosidad) y propiedades colectivas (densidad a granel y densidad aparente) se tienen como características físicas de estos residuos (Toscano et al., 2020).

Por su parte, propiedades como la textura, el color de la cáscara y el aroma de la fruta son utilizadas como criterio del estado de maduración para la selección inicial de las frutas a procesar. Las propiedades de espesor y dureza de las cáscaras son importantes en la etapa de pelado de la fruta, debido a que proporcionan información para la elección del equipo requerido en dicha operación unitaria (Herrera & Angüsaca, 2015). La densidad a granel y aparente, relacionadas con el espacio intersticial entre las semillas, el área de contacto, el movimiento de las partículas y la distribución espacial, permiten optimizar el diseño de operaciones, procesos y equipos, en el procesamiento de frutas y tratamiento, aprovechamiento y valorización de los residuos (Toscano et al., 2020). La dureza de los residuos de frutas es importante en el proceso de molienda, debido a que residuos con alta dureza conllevan a un mayor consumo de energía del equipo (Herrera & Angüsaca, 2015).

Los residuos que poseen mejores características de dureza y densidad se pueden emplear en la obtención de bioplásticos, debido a los compuestos lignocelulósicos presentes (Castillo et al.,

2015). Además, los residuos con una alta dureza y una baja porosidad se pueden aprovechar en la producción de carbón activado (Bastidas et al., 2009) y las propiedades colorimétricas de las cáscaras y las semillas de las frutas permiten establecer las posibilidades de aprovechamiento como materias primas en la fabricación de pigmentos, los cuales se pueden utilizar en la industria de alimentos (Sharma et al., 2021).

La agroindustria en general emplea diferentes tipos de biomasa primaria, como las frutas, las cuales pueden ser empleadas como materia prima, ya que generan una gran cantidad de productos y residuos. Algunos de estos son frutas en descomposición, cáscaras, semillas, pedúnculos, coronas, capachos, entre otros. Este artículo tiene como objetivo establecer las posibilidades de aprovechamiento y valorización de 9 semillas y 12 cáscaras de frutas, a partir de sus propiedades físicas. Estos residuos proceden de las frutas: aguacate, banano, coco, granadilla, guanábana, guayaba, mango, maracuyá, melón, naranja, papaya, piña y zapote. Para las semillas de frutas se determinaron propiedades como: IGR, tamaño de partícula (diámetro de Feret y diámetro de medio geométrico), esfericidad, densidad de partícula, densidad a granel y humedad total, mientras que para las cáscaras de frutas se establecieron características como: IGR, espesor, densidad, humedad total, dureza y madurez por medio del color. A partir de estas características físicas se evalúan las posibilidades o perspectivas de aprovechamiento, como la obtención de alimentos comestibles, harinas, pigmentos, compostaje, extracción de aceites y carbón activado. Se espera que algunos residuos se puedan emplear en la elaboración de harinas y obtención de compostaje, mientras que otros pueden ser utilizados en la fabricación de pigmentos y carbón activado.

Materiales y métodos

Obtención de los residuos de frutas

Se obtuvieron 21 residuos (semillas de 9 frutas y cáscaras de 12 frutas) de 13 frutas climatéricas, adquiridos en centrales de abastos de la ciudad de Manizales, capital del departamento de Caldas, Colombia. Las semillas provienen de las frutas: aguacate, granadilla, guanábana, guayaba, mango, maracuyá, melón, papaya y zapote; mientras que las cáscaras proceden de las frutas: aguacate, banano, coco, granadilla, guanábana, mango, maracuyá, melón, naranja, papaya, piña y zapote, donde estos residuos se recolectaron y almacenaron para su transporte en bolsas herméticamente selladas en un recipiente de poliestireno expandido.

Características físicas de las semillas de frutas

Las semillas de las frutas se caracterizaron respecto al IGR, el número de semillas, el tamaño de la partícula o el tamaño de las semillas (diámetro de Feret y diámetro medio geométrico), la esfericidad, la densidad de partícula y la densidad a granel. El IGR de las semillas se obtiene al pesar la fruta entera, posteriormente se retiran y se pesan las semillas y se aplica la ecuación 1.

$$\text{IGR} = \frac{\text{Peso del residuos (cáscaras o semillas)}}{\text{Peso de la fruta entera}} \times 100 \%$$

(ecuación 1)

El tamaño individual se determina por medio de dos parámetros, el diámetro de Feret (D_F) y el diámetro medio geométrico (D_g). El diámetro de Feret se toma como la distancia que existe entre dos líneas paralelas tangentes a la silueta de la partícula, las cuales son perpendiculares a una dirección fija (Castillo, 2010). El diámetro medio geométrico se obtiene por medio de la ecuación 2, donde se relacionan las tres dimensiones principales de las partículas (Da Silva et al., 2018).

$$D_g = \sqrt[3]{l \cdot a \cdot e}$$

(ecuación 2)

Donde l , a y e son las tres dimensiones características: largo, ancho y espesor, respectivamente. La esfericidad (φ) de las semillas se establece por medio de la ecuación 3 (Cruz et al., 2019).

$$\varphi = \frac{D_g}{l}$$

(ecuación 3)

La densidad de partícula se cuantifica pesando individualmente las semillas y dividiendo este valor por el volumen calculado de cada semilla (V_p), el cual se deduce a partir del diámetro geométrico, como se muestra en la ecuación 4 (Ixtaina, 2010).

$$V_p = \frac{\pi D_g^3}{6}$$

(ecuación 4)

Finalmente, la densidad a granel se determina por medio del principio de desplazamiento de Arquímedes, en el que se establece la relación entre la masa de un conjunto de semilla y el volumen desplazado por ellas al ser introducidas en una probeta con agua (Ordoñez et al., 2012).

Para todos los análisis de caracterización de estos residuos, se utilizaron las semillas de cinco frutas de cada especie, con el propósito de establecer la desviación estándar de las medidas.

Características físicas de las cáscaras de frutas

Las cáscaras de las frutas se caracterizaron en cuanto a IGR, espesor, dureza, densidad y madurez por medio del color. El IGR de las cáscaras de frutas se determina igual que se calculó el IGR de las semillas, dividiendo el peso de las cáscaras entre el peso de la fruta entera. El espesor de las cáscaras de las 12 frutas se cuantifica utilizando un calibrador Discover de 150 mm \times 0,05 mm. La dureza de las cáscaras se mide con ayuda de un esclerómetro de frutas modelo GY-3 con una precisión de 0,10 kg/cm². Para esta medida se emplearon dos cabezales de presión, uno de 11 mm y otro de 8 mm de diámetro, donde el primer cabezal tiene un área de 0,950 cm² para durezas menores a 12 kg/cm² y el segundo cuenta con un área de 0,503 cm² para valores menores a 24 kg/cm². Con el propósito de comparar los resultados experimentales con los reportados en la literatura, los datos medidos en kg/cm² se convirtieron a Newtons (N) por medio de la ecuación 5.

$$Dr (N) = Dr(kg/cm^2) A_C g$$

(ecuación 5)

Donde $Dr (N)$ es la dureza en Newtons, así: $Dr(kg/cm^2)$ es la dureza en kg/cm² medida con el esclerómetro de frutas, A_C es el área del cabezal y g es la aceleración de la gravedad en m/s². La densidad de estos residuos se obtiene empleando el principio de desplazamiento de Arquímedes, como se describió en la determinación de las características de las semillas de frutas. La madurez de las cáscaras se determina comparando imágenes tomadas de las cáscaras con imágenes reportadas en la literatura, donde se analizan los cambios de color de las frutas debido a la madurez que tiene cada una de ellas (Báez et al., 2016; Dolores et al., 2020; Yan et al., 2016; Lee et al., 2020; Siddesha & Niranjana, 2019). Las imágenes de las cáscaras se tomaron por medio de dos cámaras fotográficas con resoluciones de 16 MP y 48 MP. Al tomar la imagen, se tuvo en cuenta la iluminación del lugar, el color del fondo (blanco) en donde se pone la muestra, la distancia entre la muestra y la cámara (15-20 cm) y la resolución de la cámara (máxima resolución). La determinación de estas características se realizó a cáscaras de cinco frutas de cada especie, con el fin de establecer la desviación estándar de las medidas.

La humedad se refiere a la cantidad de agua que está presente en un material. La humedad total incluye la pérdida de humedad por secado al aire (libre o externa) y la humedad inherente (ligada o en equilibrio) (Basu, 2010). La humedad total se calcula multiplicando el porcentaje de humedad obtenido a 50 °C con el porcentaje de humedad obtenido a 110 °C y dividiéndolo entre 100 %. La pérdida de la humedad que no está ligada a la materia orgánica se determina mediante el secado entre 45 y 50 °C, durante un tiempo de 72 h o hasta que alcance el peso constante, mientras que el contenido de humedad inherente se cuantifica tomando la muestra después de retirada la humedad libre y se seca a 110 °C por 24 h (Ozbayoglu, 2018). Se ha

encontrado que a menor contenido de humedad en el material, mayor es el poder calorífico, debido a que, al quemar la biomasa, primero se debe evaporar el agua para conseguir el calor aprovechable (De Lucas et al., 2012). El contenido de materia seca total se determinará restando el porcentaje de humedad total de 100 %. Los análisis de humedad libre y humedad ligada se realizaron por duplicado.

Análisis de las características físicas

El análisis de las perspectivas o las posibilidades de aprovechamiento de las cáscaras y las semillas de frutas se va a enfocar considerando los resultados de las características físicas encontradas en estos residuos. A partir de estas, se analizan las posibilidades de aprovechamiento en cuanto a la obtención de alimentos comestibles, harinas, pigmentos, compostaje (abonos orgánicos), extracción de aceites y carbón activado.

Resultados y discusión

Características físicas de los residuos de frutas

Los resultados del IGR de semillas, cáscaras y fruta completa se presentan en la tabla 1. En esta tabla se observa que el IGR, debido a las cáscaras, varía entre 11,91 % para el aguacate y 55,61 % para el maracuyá. En esta tabla también se aprecia que la granadilla, el maracuyá y el zapote generan cantidades similares de residuos de cáscaras, pero cantidades diferentes de residuos de semillas. Respecto al IGR de las semillas, se tiene que este parámetro se encuentra entre 2,08 % en el melón y 13,95 % en el aguacate.

Tabla 1. IGR de frutas

Fruta	IGR cáscaras (%)	IGR semillas (%)	IGR fruta (%)
Aguacate	11,91 ± 2,40	13,95 ± 10,82	25,86 ± 11,08
Banano	42,01 ± 0,72	-----	42,01 ± 0,82
Coco	21,99 ± 2,64	-----	21,99 ± 2,64
Granadilla	55,46 ± 5,53	7,29 ± 0,82	62,75 ± 5,59
Guanábana	14,60 ± 3,12	7,63 ± 1,92	22,23 ± 3,66
Guayaba	-----	8,69 ± 2,91	8,69 ± 2,91
Mango	17,23 ± 4,71	6,57 ± 0,53	23,80 ± 4,74
Maracuyá	55,61 ± 10,93	4,61 ± 1,51	60,22 ± 11,03
Melón	30,80 ± 4,32	2,08 ± 0,86	32,88 ± 4,41
Naranja	24,66 ± 1,42	-----	24,66 ± 1,42
Papaya	14,90 ± 1,57	11,92 ± 2,31	26,82 ± 2,79
Piña	21,55 ± 2,45	-----	21,55 ± 2,45
Zapote	51,87 ± 2,22	10,52 ± 2,04	62,39 ± 3,02

Fuente: Elaboración propia

Al comparar los resultados del IGR de las cáscaras obtenidos en este trabajo con los encontrados en la literatura, se observa que el IGR de la cáscara de aguacate conseguido experimentalmente se encuentra en el rango reportado en la literatura de 8,78 % a 14,11 % (Ramos et al., 2021). Esto mismo ocurre con el IGR de las cáscaras de mango con un valor reportado entre 15 % y 20 % (Sánchez et al., 2019). Para el IGR de las semillas, se encuentra que los valores presentados en la tabla 1 son similares a los valores registrados en la literatura para: aguacate 15 % (Dávila et al., 2017), papaya 15 % (Velasco, 2020), maracuyá 3,90 % (Ocampo et al., 2013) y guanábana 8,50 % (Jiménez et al., 2016).

Con los resultados del IGR de las cáscaras y las semillas se calcula el índice de generación total de residuos de la fruta (IGR fruta), el cual se determina al sumar el peso de las cáscaras y de las semillas y dividiéndolo por el peso total de las frutas. Al analizar este índice total de residuos para las 13 frutas analizadas, se encuentra que varía entre 8,69 % para la guayaba y 62,75 % para la granadilla, y que las frutas que generan un IGR total que es mayor a 60 % son: granadilla > zapote > maracuyá, con valores cercanos entre sí, mientras que las frutas con los índices totales menores al 30 % son papaya, aguacate, mango, guanábana y guayaba; no se tienen en cuenta el coco, la piña y la naranja porque no se consideran la estopa o capacho, la corona y las semillas, respectivamente. Estos resultados indican que la papaya, el aguacate, el mango, la guanábana y la guayaba generan menos residuos a disponer o tratar y una menor disponibilidad de residuos para aprovechar o valorizar, lo cual se traduce en un mayor porcentaje de obtención de pulpa para su comercialización.

Las características físicas de número de semillas, diámetro medio geométrico (D_g), diámetro de Feret (D_F), esfericidad, densidad de partícula y densidad a granel, de las semillas de nueve frutas se presentan en la tabla 2. En esta tabla se observa que las frutas con mayor número de semillas por fruto son la papaya, seguida del melón y la guayaba. La granadilla, el maracuyá y la guanábana tienen un número de semillas similares en el rango de 200 a 300 semillas por fruto. Además, se encontró que el número de semillas contabilizadas experimentalmente en la guanábana, la granadilla, la guayaba, el maracuyá y el zapote se encuentran entre los valores registrados en la literatura de: 170 semillas de guanábana (Gavamukulya et al., 2017), 304 ± 42 semillas de granadilla (Arias et al., 2015), 306 ± 96 semillas de guayaba (Vega et al., 2017), 300 semillas de maracuyá (Arias et al., 2014) y 4 semillas de zapote (García et al., 2008).

Las semillas de aguacate, mango y zapote tienen los mayores tamaños, representados en el diámetro medio geométrico y el diámetro de Feret, con valores del D_g entre 2,60 cm a 4,21 cm y del D_F entre 3,40 cm a 8,54 cm, mientras que las semillas de guayaba son las de menor tamaño, seguidas por las semillas de maracuyá, granadilla y papaya. Las semillas de estas tres frutas tienen aproximadamente el mismo tamaño. De igual manera, se observa en la tabla 2 que las semillas con mayor variación, dada por el valor de la desviación estándar de los datos y respecto al diámetro de Feret, son las de aguacate, zapote y mango. También se encontró que el valor obtenido experimentalmente del D_g y D_F para las semillas de guanábana, mango y melón son diferentes a los reportados en la literatura, encontrándose valores de: 0,94 cm y 1,58 cm para la guanábana (Nonalaya & Marcañupa, 2017), 2,68 cm y 5,50 cm en el mango (Kittiphoom, 2012) y 0,28 cm y 0,75 cm para el melón (Mansouri et al., 2017). Estas variaciones posiblemente se

deben a las condiciones ambientales, las condiciones de fertilización, el tipo de suelo, el tipo de cultivo y la variedad de la respectiva fruta (Rubio et al., 2011).

Tabla 2. Características físicas de las semillas de frutas

Fruta	N.º de semillas	D_g (cm)	D_F (cm)	Esfericidad	Densidad de partícula (g/mL)	Densidad a granel (g/mL)
Aguacate	1,0	3,05 ± 0,66	3,38 ± 0,72	0,90 ± 0,02	1,43 ± 0,21	1,03 ± 0,17
Granadilla	281 ± 55	0,38 ± 0,01	0,69 ± 0,02	0,56 ± 0,05	1,36 ± 0,10	1,06 ± 0,07
Guanábana	248 ± 73	1,08 ± 0,02	1,79 ± 0,06	0,60 ± 0,02	1,09 ± 0,03	1,01 ± 0,02
Guayaba	387 ± 88	0,30 ± 0,01	0,45 ± 0,04	0,68 ± 0,05	1,08 ± 0,23	0,92 ± 0,40
Mango	1,0	4,21 ± 0,21	8,54 ± 0,46	0,49 ± 0,01	0,91 ± 0,07	0,85 ± 0,08
Maracuyá	285 ± 97	0,38 ± 0,01	0,60 ± 0,00	0,63 ± 0,01	1,25 ± 0,07	0,93 ± 0,09
Melón	532 ± 103	0,41 ± 0,01	0,97 ± 0,04	0,42 ± 0,01	0,98 ± 0,09	0,95 ± 0,09
Papaya	909 ± 126	0,55 ± 0,05	0,69 ± 0,05	0,79 ± 0,02	1,16 ± 0,26	0,94 ± 0,01
Zapote	6 ± 2	2,60 ± 0,10	4,56 ± 0,28	0,57 ± 0,02	1,12 ± 0,13	1,08 ± 0,07

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la esfericidad de las semillas, los valores presentados en la tabla 2 no muestran una desviación importante respecto a los de su misma especie, indicando una uniformidad de estos valores para una misma fruta. Además, se observa que las semillas con los mayores valores de esfericidad son las de aguacate (0,90), seguidas por las de la papaya y la guayaba, con valores de esfericidad entre 0,68 y 0,90, respectivamente, lo cual se traduce en mejores características de transporte, debido a la facilidad o tendencia a rodar (Manayay, 2015); mientras que las semillas con valores de esfericidad menores a 0,50 son las de mango y melón, sin embargo, los datos de esfericidad reportados en la literatura son: 0,43 en el mango (Ortega et al., 2017) y 0,37 para el melón (Mansouri et al., 2017), los cuales tienen una diferencia alrededor del 13 % respecto a lo encontrado en el presente trabajo, mientras que el valor de 0,60 para las semillas de guanábana (Nonalaya & Marcañaupa, 2017) está en el rango determinado experimentalmente.

Al analizar la densidad de partícula y la densidad a granel de las semillas, se observa (tabla 2), como es de esperarse, que la densidad a granel es menor que la densidad de partícula, esto se debe a que en la densidad a granel se tiene en cuenta el espacio entre las semillas para el cálculo de la densidad. También se encuentra que el mayor valor de densidad de partícula se observa en el aguacate (1,43 g/mL), seguido por la densidad de partícula de las semillas de granadilla y maracuyá, con valores mayores a 1,25 g/mL, mientras que las semillas con menor densidad de partícula se presentan en el mango (0,91 g/mL) y el melón (0,98 g/mL). Respecto a la densidad a granel en las semillas analizadas, se observa que varía entre 0,85 g/mL y 1,08 g/mL, indicando que, en términos generales, las semillas tienen aproximadamente la misma densidad a granel.

La tabla 3 presenta la humedad total, la materia seca total y la humedad a 110 °C para las semillas y las cáscaras de las frutas analizadas. La humedad total de las semillas se encuentra entre 31,42 % (guanábana) y 84,71 % (papaya), mientras que para las cáscaras está entre 15,19 % (coco) y 94,44 % (maracuyá). Al comparar los resultados con lo registrado en la literatura, se tienen valores de humedad total en la cáscaras de banano de 88,87 %, mango de 73,85 %, maracuyá de

88,99 %, melón de 95,57 % y papaya de 91,34 % (Rojas & Flórez, 2019). Para las semillas, se tienen valores cercanos de humedad total a los reportados en la literatura para maracuyá (80,46 %), mango (54,36 %), granadilla (38,23 %) y papaya (88,07 %) (Rojas & Flórez, 2019). Además, se observa que el contenido de humedad a 110 °C para las cáscaras se encuentra entre 8,85 % (maracuyá) y 21,75 % (cáscaras de papaya) y para las semillas varía entre 4,20 % (maracuyá) y 10,23 % (papaya).

Tabla 3. Contenido de humedad materia seca total en los residuos de frutas

Fruta	Tipo de residuos	Humedad total (%)	Materia seca (%)	Humedad 110 °C (%)
Aguacate	Cáscaras	72,08 ± 0,02	27,92 ± 0,02	9,78 ± 0,03
	Semillas	67,63 ± 0,04	32,37 ± 0,04	8,62 ± 0,11
Banano	Cáscaras	88,85 ± 0,01	11,15 ± 0,01	20,21 ± 0,06
Coco	Cáscaras	15,19 ± 0,01	84,81 ± 0,01	6,87 ± 0,01
Granadilla	Cáscaras	85,78 ± 0,03	14,22 ± 0,03	13,65 ± 0,18
	Semillas	41,99 ± 0,04	58,01 ± 0,04	8,22 ± 0,06
Guanábana	Cáscaras	71,38 ± 0,08	28,62 ± 0,08	10,92 ± 0,24
	Semillas	31,42 ± 0,14	68,58 ± 0,14	4,83 ± 0,19
Guayaba	Semillas	56,26 ± 0,06	43,74 ± 0,06	7,54 ± 0,13
Mango	Cáscaras	76,54 ± 0,30	23,46 ± 0,30	12,74 ± 1,11
	Semillas	50,05 ± 0,13	49,95 ± 0,13	4,92 ± 0,25
Maracuyá	Cáscaras	85,46 ± 0,02	14,54 ± 0,02	8,85 ± 0,16
	Semillas	38,88 ± 0,03	61,12 ± 0,03	4,20 ± 0,05
Melón	Cáscaras	94,44 ± 0,02	5,56 ± 0,02	11,38 ± 0,31
	Semillas	49,26 ± 0,02	50,74 ± 0,02	6,03 ± 0,03
Naranja	Cáscaras	71,17 ± 0,11	28,83 ± 0,11	13,46 ± 0,34
Papaya	Cáscaras	89,41 ± 0,03	10,59 ± 0,03	21,75 ± 0,20
	Semillas	84,71 ± 0,14	15,29 ± 0,14	10,23 ± 0,85
Piña	Cáscaras	85,15 ± 0,06	14,85 ± 0,06	16,81 ± 0,33
Zapote	Cáscaras	91,18 ± 0,08	8,82 ± 0,08	16,59 ± 0,72
	Semillas	50,73 ± 0,21	49,27 ± 0,21	6,01 ± 0,39

Fuente: Elaboración propia

Las características físicas de espesor, densidad, dureza, color y madurez para las cáscaras se presentan en la tabla 4. En esta tabla se observa que el mayor espesor corresponde a la cáscara de melón ($0,80 \pm 0,24$ cm), la cual tiene una desviación estándar alta, indicando que la cáscara no es uniforme alrededor del fruto. Las cáscaras de aguacate, mango y papaya registran una baja desviación estándar, estableciendo que la cáscara de estas frutas tiene un espesor uniforme alrededor del todo el fruto y también se aprecia que las cáscaras de papaya, aguacate y mango poseen un espesor bajo, menor a 0,12 cm. Estos resultados se compararon con datos de espesor encontrados en la literatura y se halló que el aguacate, el coco y el banano tienen valores de espesor similares a 0,08-0,30 cm (Robayo, 2016), 0,50 cm (Toj, 2008) y 0,25 cm (Martínez & Bermúdez, 2016), respectivamente. Las cáscaras de las otras frutas presentaron valores menores a los registrados en la literatura, debido a que en este trabajo se consideró como cáscara solo el flavedo, mientras que en la bibliografía se toma como cáscara la suma del flavedo y el albedo.

Entre algunos valores de espesor reportados se tienen: 0,20-0,22 cm para la guanábana (Nolasco et al., 2019), 0,20-0,30 cm en el mango (González et al., 2016) y la papaya (Hazwani et al., 2018), 0,50-0,90 cm para la piña (González et al., 2016), 0,60-0,80 cm en la naranja (González et al., 2016), 0,80-1,10 cm para el maracuyá (González et al., 2016) y 1,60-1,80 cm en el melón (Espinosa & Vallejo, 2020).

Tabla 4. Características físicas de las cáscaras de frutas

Fruta	Espesor (cm)	Densidad (g/mL)	Dureza (N)	Color	Madurez (fase)
Aguacate	0,12 ± 0,01	1,02 ± 0,28	71,59 ± 6,18	Verde oscuro con tono morado intenso	4 de 5
Banano	0,19 ± 0,03	0,98 ± 0,08	71,27 ± 0,95	Amarillo con segmentos cafés	5 de 6
Coco	0,43 ± 0,11	1,19 ± 0,03	> 118,43	Marrón	3 de 3
Granadilla	0,72 ± 0,03	1,05 ± 0,17	98,69 ± 3,90	Anaranjado	3 de 3
Guanábana	0,44 ± 0,04	1,13 ± 0,19	75,39 ± 7,19	Verde-amarillento	5 de 5
Mango	0,08 ± 0,01	1,07 ± 0,08	> 118,43	Rojo	4 de 5
Maracuyá	0,55 ± 0,12	1,05 ± 0,11	> 118,43	Amarillo	5 de 6
Melón	0,80 ± 0,24	0,94 ± 0,02	> 118,43	Verde-amarillo	3 de 3
Naranja	0,37 ± 0,04	1,04 ± 0,05	> 118,43	Amarillo verdoso	3 de 3
Papaya	0,08 ± 0,02	0,97 ± 0,07	54,49 ± 3,34	Amarillo-naranja	5 de 6
Piña	0,32 ± 0,07	1,06 ± 0,03	101,54 ± 1,74	Amarillo-naranja, áreas verdes	pocas 3 de 4
Zapote	0,77 ± 0,05	0,99 ± 0,02	96,84 ± 8,37	Verde-amarillo	4 de 5

Fuente: Elaboración propia

En esta tabla también se observa que las cáscaras de frutas que presentan la mayor densidad son las del coco con un valor de $1,19 \pm 0,03$ g/mL y la guanábana con un valor de $1,13 \pm 0,19$ g/mL. La mayor desviación estándar se presenta en las cáscaras de aguacate, esta variación se debe a la posible presencia de pulpa residual en alguna de las muestras analizadas. Al comparar los resultados de la tabla 4 con la información disponible en la literatura, se encuentra que las cáscaras de aguacate, maracuyá, banano y coco tienen valores cercanos a los dados en la bibliografía, de 1,04 g/mL en aguacate (Clark et al., 2007), 1,09-1,18 g/mL en maracuyá (González et al., 2016) y 1,13 g/mL en banano (Dormond et al., 2011) y coco (Singh et al., 2021). Las otras cáscaras presentaron valores menores a los dados en la literatura, como las cáscaras de mango, con una densidad entre 1,95 g/mL a 2,20 g/mL (González et al., 2016), y papaya y zapote con 1,12 g/mL (Athmaselvi et al., 2014).

Respecto a la dureza de las cáscaras, el coco, el melón, el maracuyá, el mango y la naranja presentan la mayor dureza y estos resultados se encuentran por encima del límite del instrumento de 118,43 N o 24,00 kg/cm². En tanto que, entre las medidas registradas dentro del rango de medición del instrumento, las cáscaras de piña son las que presentan la mayor dureza, con un valor de $101,54 \pm 1,74$ N, seguida por la granadilla y el zapote, que presentan similares valores de dureza, alrededor de 100,00 N. Además, las cáscaras de papaya, aguacate, banano y guanábana presentan una dureza menor a 76,00 N, esto indica que las últimas cuatro frutas se deben

empacar y ordenar en pequeños grupos, con el fin de evitar que, durante el almacenamiento y el transporte de ellas, no se vea afectada la integridad de las frutas. Adicionalmente, los datos de dureza presentados en la tabla 4 se compararon con datos de la literatura, donde se reportan valores de dureza en las cáscaras de: banano entre 40,00 N y 55,00 N (Bugaud et al., 2014), maracuyá de 97,19 N (Pinzón et al., 2007), naranja entre 77,00 N y 92,00 N (Manjarres-Pinzon et al., 2013) y papaya entre 10,00 N a 20,00 N (Umaña et al., 2011). Estos valores se caracterizan por ser menores a los encontrados en este trabajo, sin embargo, para el coco se reporta un valor de $286,86 \pm 82,59$ N (Terdwongworakul et al., 2010), que se puede decir que está acorde a lo encontrado en este trabajo, a pesar de que no se tiene el valor exacto de la dureza, porque se registra un valor por encima del rango de medición del instrumento ($> 118,43$ N).

En la tabla 4 también se presenta el color que tienen las frutas analizadas en este trabajo, donde se observa que predomina el color amarillo, seguido por el color verde y el naranja, sin embargo, también se encuentran otros colores como el marrón y el rojo, junto con tonalidades moradas y cafés. El color verde amarillento o amarillo verdoso de las cáscaras de frutas climatéricas, como se observa en la guanábana, el maracuyá, el melón, la naranja, la papaya y el zapote, se debe a la ruptura de los cloroplastos, lo que conlleva a la liberación de la enzima polifenol oxidasa, la cual provoca la oxidación y la polimerización de fenoles (Jiménez et al., 2017). En el caso de la piña, se observan pequeños segmentos de color verde, ello indica que la fruta tiene un bajo contenido de clorofila en su estructura, mientras que el color amarillo y el naranja en la papaya, el maracuyá y la piña revelan la presencia de pigmentos como las antocianinas y los carotenoides, característicos de las frutas maduras (García et al., 2011).

En cuanto a la madurez de las frutas que dieron origen a las cáscaras como residuos, en la tabla 4 se observa que las frutas se encontraban entre la penúltima y la última fase de madurez. Esto era de esperarse, dado que en estas fases el fruto es apto para el consumo directo o para el procesamiento agroindustrial y se encontró que las frutas como aguacate, mango, maracuyá, piña y zapote estaban en su penúltima etapa de madurez; en tanto que, las frutas como banano, coco, granadilla, guanábana, melón, naranja y papaya se encontraban en la última etapa o estado de madurez. En las últimas fases se observó una variación del color, para la guanábana se apreciaron segmentos marrones, lo que indica que esta fruta se encontraba en la última fase de madurez antes de comenzar a deteriorarse. En caso del maracuyá, en la quinta fase de su madurez, el exocarpio presentó una apariencia lisa y brillante, lo cual se debe a que esta recubierta por una cera natural (Rivadeneira, 2009).

Perspectivas de la valorización de los residuos de frutas

Una de las alternativas de aprovechamiento de las semillas y las cáscaras de frutas es la elaboración de alimentos comestibles, tanto para humanos como para animales, por lo que se debe tener presente que para fabricar un buen alimento es necesario conocer su composición nutricional, sin embargo, las características físicas como el tamaño, el grosor (espesor), la densidad y la humedad, afectan directamente la fibra alimentaria que poseen las semillas y las cáscaras de las frutas. Se sabe que la cantidad de fibra que aportan las semillas y las cáscaras disminuye con el contenido de humedad, por lo que la fibra se puede relacionar con la densidad de manera directa, dado que a menor contenido de humedad, mayor es la densidad de estos residuos y mayor es la calidad de la fibra (Vargas et al., 2019). De acuerdo con esto y al considerar

los resultados reportados en la tabla 4, las cáscaras de guanábana, granadilla, maracuyá y mango tienen un gran potencial de poder ser aprovechadas para la elaboración de alimentos comestibles, dado que pueden incrementar la ganancia de peso del animal y disminuir el costo de alimentación (Cabrera et al., 2020). El color de la cáscara también influye en el aumento de la cantidad de azúcares, que es empleado como un saborizante en los alimentos. Cuando la cáscara se torna amarilla, roja, amarilla rojiza o amarilla naranja, existe un aumento en el contenido de azúcares (Torres et al., 2013) y estos colores se aprecian (tabla 3) en las cáscaras de granadilla, mango, maracuyá y papaya. La cáscara de banano poco se aprovecha como alimento animal debido a su bajo contenido de proteína cruda y bajas cantidades de nitrógeno y fósforo (Vargas, 2020), pero debido a su bajo espesor y baja densidad es una gran materia prima para ser sometida a procesos de ensilaje con el propósito de producir alimento para animales rumiantes (Castro et al., 2018).

En cuanto a las perspectivas de aprovechamiento de las semillas y las cáscaras de frutas en la producción de harinas, las cuales son empleadas como ingrediente en diversos productos alimenticios para mejorar el valor nutricional y algunas propiedades de los alimentos procesados (Resende et al., 2019), estos residuos se deben someter a un proceso de molienda. El consumo de energía de este proceso se ve afectado por las características físicas del material a procesar, tales como: tamaño, forma (esfericidad para el caso de las semillas), dureza, densidad y humedad (Soto, 2014). En esta etapa de molienda se busca que los sólidos sean homogéneos para evitar pérdidas de energía, puesto que es más fácil moler sólidos grandes que moler sólidos pequeños, dado que estos últimos consumen mayor energía por unidad de masa procesada (Soto, 2014). Al tener en cuenta lo anterior y revisar los resultados de la tabla 2, se puede establecer que por el parámetro denominado tamaño (diámetro de Feret) se esperaría que la etapa de molienda consuma menos energía al moler semillas de aguacate, guanábana, mango y zapote. Respecto al parámetro esfericidad, se recomienda moler semillas de aguacate y papaya, mientras que, si se considera la densidad a granel, se espera que la molienda va a ser más eficiente empleando semillas de aguacate, granadilla, guanábana y zapote.

Al analizar los resultados de dureza en las cáscaras de frutas dados en la tabla 4, se puede establecer que las cáscaras de aguacate, banano, granadilla, guanábana, papaya, piña y zapote, que presentan bajos valores de dureza, son ideales para la obtención de harina debido al bajo tiempo de molienda y el bajo consumo de energía (Rubiano et al., 2019); sin embargo, la dureza afecta inversamente la capacidad de absorción de agua en las harinas (Olán et al., 2012) y, por tanto, para obtener harinas con baja capacidad de absorción de agua se recomiendan cáscaras con una alta dureza como las de coco, mango, maracuyá, melón y naranja (tabla 4).

La evaluación de las perspectivas de aprovechamiento de las cáscaras de frutas para la obtención de pigmentos se basa en el color característico de las frutas en su última etapa de madurez, encontrándose tonos rojizos, amarillentos, anaranjados y verdosos. La coloración verdosa se debe a la presencia de clorofila en las cáscaras, mientras que los tonos amarillos, naranjas y rojos se atribuyen a la presencia de colorantes como los carotenoides, las betalaínas y las antocianinas (Rodríguez, 2016), lo que indica que las cáscaras de aguacate, guanábana, melón y zapote se pueden emplear para obtener colorantes de tono verdoso (tabla 4), mientras que las cáscaras de banano, granadilla, mango, naranja, papaya y piña (tabla 4) se pueden aprovechar para obtener colorantes a base de carotenoides, betalaínas y antocianinas (Silva et al., 2021). Estos pigmentos se podrían utilizar como una alternativa de origen natural de los pigmentos sintéticos, los cuales

son utilizados en alimentos procesados, en tintes de cosmética, fibras textiles, entre otros (Carrillo et al., 2018).

Para analizar las perspectivas de aprovechamiento de los residuos de frutas en la producción de compostaje, se debe establecer la calidad de este por medio de las características físicas de la biomasa precursora. La calidad del compostaje se puede establecer a partir de ciertas características de la materia prima como: contenido de humedad, tamaño de partícula, tiempo de descomposición y cantidad de nutrientes presentes (Barrena, 2006). Además, se ha encontrado que características físicas como un contenido de humedad mayor al 5 % y un tamaño de partícula de entre 1 cm y 5 cm, benefician el proceso de descomposición biológica de la materia orgánica (Roldán, 2014). Un tamaño de partícula menor a 1 cm puede causar la compactación de la mezcla, lo que impide la aireación de la materia prima y se favorecen las reacciones de putrefacción de la materia orgánica, lo cual no es bueno para la producción de composta (Escobar & Ángeles, 2021). De la tabla 2 se puede establecer que las semillas de aguacate, guanábana, melón y zapote, que presentan un diámetro de Feret de entre 1 cm y 5 cm, podrían ser aptas para ser empleadas como materia prima en la producción de compostaje.

Además, las semillas de mango se podrían aprovechar para la producción de compostaje, siempre y cuando se reduzca al tamaño de partícula deseado y se garantice la porosidad a granel requerida para favorecer la actividad microbiana y así obtener un compostaje con buena calidad (Mendoza, 2009). En cuanto a las cáscaras, los residuos que presentan baja densidad y dureza se caracterizan porque en su estructura tienen una mayor cantidad de humedad, la cual facilita el avance de las reacciones microbianas (Roldán, 2014). De la tabla 4 se infiere que las cáscaras de papaya, banano y zapote se pueden utilizar como parte de la materia prima para la obtención de compostaje. Las cáscaras de naranja no se recomiendan como materia prima para compostar, no solamente por su alta dureza y densidad, sino también por su largo tiempo de descomposición, debido a la presencia del ácido acético que inhibe el crecimiento de los microorganismos (De la Cruz, 2017).

En el caso de las perspectivas de aprovechamiento de las semillas para la extracción de aceite, el cual es uno de los componentes importantes de la dieta humana, debido a que este es fuente de energía, las semillas se deben someter a métodos de extracción como: prensado, supercrítica, acuosa y por solventes (Benavente, 2019). Para establecer la viabilidad económica en la extracción de aceites de semillas, no solamente se considera el contenido de ácidos grasos, sino también el tamaño, la densidad y el contenido de humedad, donde estos tres parámetros afectan la etapa de molienda de las semillas, como se analizó en las perspectivas de obtención de harinas. La molienda de las semillas facilita la extracción de aceite, ya sea si la extracción se realice por prensado o por solventes. La extracción por solventes requiere que las partículas sean muy finas, lo cual va a generar un mayor consumo de energía en la etapa de molienda (Cefla, 2015). De acuerdo con esto, se recomienda aprovechar las semillas de guanábana, melón, naranja y zapote para la extracción de aceites, compuestos bioactivos o fitonutrientes.

La alta dureza, junto con la gran porosidad del material, el bajo contenido de ceniza y la humedad, son algunas de las características físicas que se deben tener en cuenta en la selección de la materia prima para la obtención de carbón activado (Bastidas et al., 2009), esto se debe a que la calidad y las características de absorción del carbón activado dependen de las propiedades físicas del precursor y, por lo tanto, la materia prima debe tener una alta dureza para que el carbón activado

producido adquiriera esta propiedad. Como el carbón activado se utiliza en forma de lecho empacado, la alta dureza evita que durante su uso las partículas se fracturen. Al tener en cuenta esto, las cáscaras de frutas que se podrían utilizar como materia prima para la fabricación de carbón activado son las cáscaras provenientes de coco, mango, maracuyá, melón y naranja (tabla 4).

Se recomienda complementar la caracterización física mencionada en este trabajo con otras características físicas como las curvas de adsorción, la porosidad y el área superficial; al igual que con algunas caracterizaciones químicas, como los análisis de termogravimetría, elemental, inmediato y bromatológico, que permitan establecer con mayor precisión las posibilidades de aprovechamiento y valorización de estos residuos. Las curvas de adsorción, porosidad y el área superficial confirmarían el aprovechamiento como el carbón activado de los residuos para el tratamiento de emisiones gaseosas y aguas residuales. A su vez, el análisis termogravimétrico permite obtener los perfiles de combustión y pirólisis, y junto con el análisis elemental inmediato y el poder calorífico, se pueden establecer las perspectivas de valorización energética de los residuos. El análisis elemental en conjunto con la determinación del contenido de N_2 , P_2O_5 , K_2O y la relación C/N, proporcionan información para tomar la decisión de aprovechar los residuos en la producción de un biofertilizante a través del compostaje, mientras que el análisis bromatológico (donde se cuantifica el contenido de proteína, fibra, lípidos y carbohidratos) ratificaría la valorización de los residuos como materia prima para la fabricación de alimentos comestibles como las harinas.

Conclusiones

Las perspectivas de aprovechamiento y valorización para la obtención de alimentos comestibles, harinas, pigmentos, compostaje, extracción de aceites y carbón activado, de 9 semillas y 12 cáscaras frutas, se determinaron a partir de características físicas como el IGR, el tamaño de partícula (diámetro de Feret y diámetro medio geométrico), la esfericidad, la densidad de partícula y la densidad a granel. Además, se encontró que, en general, las cáscaras de frutas presentan un mayor IGR que las semillas, lo cual indica que se tiene una mayor disponibilidad de cáscaras de frutas para su potencial aprovechamiento. También se encontró que propiedades como tamaño, espesor, dureza, densidad y esfericidad afectan las posibilidades de aprovechamiento de los residuos en la fabricación de alimento comestible, harinas y compostaje, las características como esfericidad y dureza influyen en la obtención de carbón activado y que el estado de madurez y el color intervienen en la obtención del tipo de pigmento.

De todos los residuos analizados en este trabajo, se encontró que los de mayor perspectiva de aprovechamiento son los provenientes de la guanábana y el melón, específicamente las cáscaras y las semillas de guanábana y melón se pueden aprovechar en conjunto para la elaboración de alimentos comestibles, harinas y compostaje, en tanto que, en su aprovechamiento por separado, se encontró que las semillas se pueden utilizar para la extracción de aceites y las cáscaras para la fabricación de pigmentos y carbón activado. Se recomienda buscar el aprovechamiento y la valorización de todos los residuos en conjunto generados en el cultivo y procesamiento de una determinada fruta, para asegurar una mayor disponibilidad de estos residuos como materia prima y reducir las cantidades a disponer.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dirección de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales (DIMA) por el apoyo económico al proyecto “Valorización térmica de residuos de frutas generados en la agroindustria de Colombia”, con código Hermes 51002 y código Quipu 20301003330.

Contribución de los autores

Danya Katherine Jurado Erazo: realización de experimentos de caracterización física de cáscaras de frutas, búsqueda bibliográfica de características físicas de cáscaras y de las posibilidades de aprovechamiento según características físicas de las cáscaras, revisión de las versiones del artículo, redacción de parte de la metodología y análisis de resultados en una versión inicial; Yanela Alexandra Tulcán Cuasapud: realización de experimentos de caracterización física de semillas de frutas, búsqueda bibliográfica de características físicas de semillas y de las posibilidades de aprovechamiento según características físicas de las semillas, revisión de las versiones del artículo, redacción de parte de la metodología y análisis de resultados en una versión inicial; Andrés Felipe Rojas González: aporte de algunos datos experimentales, redacción del artículo de la segunda versión en adelante, análisis de los resultados, redacción de la introducción, resumen, *abstract*, palabras clave y conclusiones, organización bibliografía según normas y del artículo según el formato de la revista.

Implicaciones éticas

El presente artículo cuenta con el aval 202103 del Comité de Ética de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, dado en reunión realizada el día 3 de febrero del 2021 (acta 001-2021). También se obtuvo el consentimiento de los colaboradores para usar la información suministrada en la documentación del proceso presentado en el artículo.

Conflicto de interés

Los autores manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Financiación

El presente artículo resulta como producto esperado de la ejecución del proyecto “Valorización Térmica de Residuos de Frutas Generados en la Agroindustria de Colombia”, con código Hermes 51002, financiado por la Dirección de Investigación y Extensión de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales.

Descargos de responsabilidad

Todos los autores del presente trabajo realizaron aportes significativos al documento, están de acuerdo con su publicación y manifiestan que no existen conflictos de interés.

Referencias

- Al-Sayed, M., & Ahmed, A. (2013). Utilization of watermelon rinds and sharlyn melon peels as a natural source of dietary fiber and antioxidants in cake. *Annals of Agricultural Sciences*, 58(1), 83-95. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2013.01.012>
- Arias, J., Ocampo, J., & Urrea, R. (2014). La polinización natural en el maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener) como un servicio reproductivo y ecosistémico. *Agronomía Mesoamericana*, 25(1), 73-83. <https://doi.org/10.15517/am.v25i1.14200>
- Asokan, M., Senthur, S., Prathiba, S., Sunit, D., Jain, D., & Madan, S. (2021). Emission and performance behavior of orange peel oil/diesel blends in DI diesel engine. *Materials Today: Proceedings*, 1 -5. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.060>
- Athmaselvi, K., Jenney, P., Pavithra, C., & Roy, I. (2014). Physical and biochemical properties of selected tropical fruits. *International Agrophysics*, 28, 383-388. <https://doi.org/10.2478/intag-2014-0028>
- Báez, M., Crisosto, G., Contreras, R., Wilkins, K., & Crisosto, C. (2016). *Entendiendo el Rol de la Madurez Fisiológica y las Condiciones de Envío en la Calidad de Llegada del Mango*. México: Universidad de California. <https://www.mango.org/wp-content/uploads/2018/04/Physiological-Maturity-and-Shipping-Conditions-Spn.pdf>
- Barrena, R. (2006). *Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso*. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona. <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5307/rbg1de1.pdf>
- Bastidas, M., Buelvas, L., Márquez, M., & Rodríguez, K. (2009). Producción de Carbón Activado a partir de Precusores Carbonosos del Departamento del Cesar, Colombia, *Información Tecnológica*, 21, 87-96. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642010000300010>
- Basu, P. (2010). *Biomass gasification and pyrolysis*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374988-8.00002-7>
- Benavente, J. (2019). *Determinación del tamaño de grano y el tiempo en el proceso de extracción por solventes del aceite de arrocillo (Oryza sativa L.) Proveniente de la provincia de Camaná* [Tesis, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Perú]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/10262/IQbecajc.pdf?isAllow-ed=y&sequence=1>
- Bugaud, C., Ocrisse, G., Salmon, F., & Rinaldo, D. (2014). Bruise susceptibility of banana peel in relation to genotype and post-climacteric storage conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 87, 113-119. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.08.009>
- Cabrera, A., Lammoglia, M., Martínez, C., Rojas, R., & Montero, F. (2020). Utilización de subproductos de naranja (*Citrus sinensis* var. *valencia*) en la alimentación para rumiantes. *Abanico Veterinario*, 10, 1-11. <https://doi.org/10.21929/abavet2020.6>

- Carrillo, J., Moranchel, L., Soto, S., & Vásquez, O. (2018). *Extracción del pigmento de la cáscara de naranja para su uso como tinta no tóxica en marcatextos*. Universidad Iberoamericana de Puebla. <http://hdl.handle.net/20.500.11777/3854>
- Castillo, C. (2010). *Evaluación del proceso de micronizado en la preparación de concentrados (polvos cosméticos) en la industria cosmética*. Universidad de los Andes. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/14604/u442846.pdf?sequence=1>
- Castillo, R., Escobar, E., Fernández, D., Gutiérrez, R., Morcillo, J., Núñez, N., & Peñaloza, S. (2015). Bioplástico a base de la cáscara del plátano. *Revista de Iniciación Científica*, 1, 34-37. <https://core.ac.uk/download/pdf/234019621.pdf>
- Castro, A., Rodríguez, I., & Ramírez, M. (2018). Evaluación de la producción de leche en bovinos alimentados con cáscara de banano maduro. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(1), 108-114. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/171>
- Cefla, K. (2015). *Diseño de una planta para la extracción del aceite vegetal comestible de las semillas de Chía (Salvia hispanica L.) Mediante prensado* [Proyecto de grado, Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10365/3/CD-6164.pdf>
- Clark, C., White, A., Jordan, R., & Woolf, A. (2007). Challenges associated with segregation of avocados of differing maturity using density sorting at harvest. *Postharvest Biology and Technology*, 46, 119-127. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.05.010>
- Cruz, I., Ayala, D., Hiller, D., Gutsch, S., Zacharias, M., Estradé, S., & Peiró, F. (2019). Sphericity and roundness computation for particles using the extreme vertices model. *Journal of Computational Science*, 30, 28-40. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2018.11.005>
- Da Silva, M., Santiago E., Dos Santos, M., & Barbosa, M. (2018). Caracterização Morfológica usando dimensões lineares sobre os atributos biométricos em sementes de *Annona reticulata* (L.) Vell. (Annonaceae). *Ciência Florestal*, 28(2), 696-707. <https://doi.org/10.5902/1980509832070>
- Dávila, J., Rosenberg, M., Castro, E., & Cardona, C. (2017). A model biorefinery for avocado (*Persea americana* mill.) processing. *Bioresourve Technology*, 243, 17-29. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.063>
- De la Cruz, A. (2017). Efecto del uso de cáscaras de cítricos sobre el aislamiento y cuantificación de *Pseudomonas* spp. en suelo bajo ensayo experimental. *Revista Científica Universitaria*, 6(2), 31-42. <http://up-rid.up.ac.pa/2310/1/3>
- De Lucas, A., Del Peso, C., Rodríguez, E., & Prieto, P. (2012). *Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad*. Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario. <http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf>
- Dolores, O., Layme, J., & Huaynate, L. (2020). Nonhost Status of Commercial Sweet Granadilla (*Passiflora ligularis*) in Perú to *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) and *Anastrepha fraterculus*. *Journal of Economic Entomology*, 20(20), 1-18. <https://doi.org/10.1093/jee/toaa026>
- Dormond, H., Rojas, A., Boschini, C., Mora, G., & Sibaja, G. (2011). Evaluación preliminar de la cáscara de banano maduro como material de ensilaje, en combinación con pasto King Grass (*Pennisetum purpureum*), (nota técnica). *Revista de las Sedes Regionales*, 7(23), 17-31. <https://www.redalyc.org/pdf/666/66622603002.pdf>

- Escobar, L., & Ángeles, J. (2021). *Cartilla de compostaje para residuos domiciliarios separados en la fuente*. Corantioquia. <https://1library.co/document/yj7dv8ky-cartilla-tecnica-de-compostaje-para-residuos-domiciliarios.html>
- Espinosa, J., & Vallejo, F. (2020). Variabilidad genética de familias de medios hermanos de melón criollo ecuatoriano Cucumis melo var. dudaim (L.) Naudin. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 23(2), 1-9. <http://doi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1762>
- García, A., Tejacal, A., López, V., Rodríguez, M., Colinas, M., & Villegas, O. (2008). Characterization of sapote mamey fruits (*Pouteria sapota*), in the southwest region of Morelos. *Revista Chapingo: Serie Horticultura*, 14(1). <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2006.02.013>
- García, Y., García, A., Hernández, A., & Pérez, J. (2011). Estudio de la variación del Índice de Color durante la conservación de la piña variedad Cayena Lisa a temperatura ambiente. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(4), 12-16. <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v20n4/rcta02411.pdf>
- Gavamukulya, Y., Wamunyokoli, F., & Shemy, H. (2017). *Annona muricata*: Is the natural therapy to most disease conditions including cancer growing in our backyard? A systematic review of its research history and future prospects. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 10(9), 835-848. <https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2017.08.009>
- González, K., Daza, D., Caballero, P., & Martínez, C. (2016). Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. *Revista Luna Azul*, 43, 499-517. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.21>
- Grajales, A., Tello, J., Verdugo, O., & Portilla, G. (2017). *Diseño de un proceso para el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en el proceso de extracción de pulpa de fruta*. Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Hazwani, F., Tajidin, N., Haja, S., Muda, M., & Abdul, N. (2018). Ripening characteristics of vapour heat treated 'Frangi' papaya (*Carica papaya* L. cv. Frangi) as affected by maturity stages and ethylene treatment. *Post Harvest Technology*, 77(2), 372-384. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.105>
- Herrera, W., & Angüsaca, J. (2015). *Formulación del diseño del proyecto de una planta productora de pulpa de fruta derivada de mora y tomate de árbol de la ciudad de Cuenca* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7962/1/UPS-CT004823.pdf>
- Ixtaina, V. (2010). *Caracterización de la semilla y el aceite de chía (Salvia hispanica L.) obtenido mediante distintos procesos. Aplicación en tecnología de alimentos* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de la Plata]. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/2679>
- Jiménez, J., Balois, R., Alia, I., Juárez, P., Martínez, M., & Bello, J. (2016). Caracterización de frutos de guanábana (*Annona muricata* L.) en Tepic, Nayarit México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 17, 1261-1270. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i6.175>
- Jiménez-Zurita, J., Balois-Morales, R., Alia-Tejacal, I., Juárez-López., P., Jiménez-Ruiz, E., Sumaya-Martínez, M., & Bello-Lara, J. (2017). Tópicos del manejo poscosecha del fruto de guanábana (*Annona muricata* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5), 1155-1167. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i5.115>
- Kittiphoom, S. (2012). Utilization of mango seeds. *International Food Research Journal*, 19(4), 1325-1335. [http://ifrj.upm.edu.my/19%20\(04\)%202012/5%20IFRJ%2019%20\(04\)%202012%20Kittiporn%20\(375\).pdf](http://ifrj.upm.edu.my/19%20(04)%202012/5%20IFRJ%2019%20(04)%202012%20Kittiporn%20(375).pdf)

- Lee, J., Abdul, N., Ahmad, N., Ikwan, W., Abdul, M., Muhsin, N., & Akmal, M. (2020). Maturity stage at harvest affects physicochemical quality of ms16 pineapple. *International Journal of Agriculture, Forestry and Plantation*, 10, 84-88. https://www.researchgate.net/publication/351354195_MATURITY_STAGE_AT_HARVEST_AFFECTS_PHYSICOCHEMICAL_QUALITY_OF_MS16_PINEAPPLE
- Manayay, D., Taramona, L., & Jordan, O. (2015). *Evaluación de la Forma, Redondez, Esfericidad y Ecuantidad en granos comerciales de maíz amarillo duro (Zea mays L.) y arveja (Pisum sativum)*. Universidad Le Cordon Bleu, Lima, Perú. <https://repositorio.ulcb.edu.pe/bitstream/handle/ULCB/32/INFORME%20FINAL%202015-%20MANAYAY.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Manjarres-Pinzon, K., Cortes-Rodriguez, M., & Rodríguez-Sandoval, E. (2013). Effect of drying conditions on the physical properties of impregnate orange peel. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 30(3), 667-676. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322013000300023>
- Mansouri, A., Hossein, A., & Ráufi, A. (2017). Physical properties and mathematical modeling of melon (*Cucumis melo* L.) seeds and kernels. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(3), 218-226. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.07.001>
- Martínez, C., & Bermúdez, T. (2016). Caracterización de algunas propiedades físico- mecánicas y químicas en el banano (*Musa* spp.). *Centro Agrícola*, 43(3), 46-55. <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v43n3/cag06316.pdf>
- Mejía, L., & Morales, F. (2016). *Estructura de la cadena frutícola en Cundinamarca* [Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3601/MoralesAguilarFreddySantiago2016.pdf;jsessionid=8CAF2D0FDE54DA1D04AC4706D48E0E92?sequence=1>
- Mendoza, J. (2009). *Producción de compost a partir de residuos orgánicos para el ingenio Castilla Industrial S.A, Colombia*. Universidad Autónoma del Occidente. <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/6398/T04412.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Nolasco, Y., Hernández, L., & Montalvo, E. (2019). Morphological and physicochemical characterization of selected soursop accessions fruits in Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 23, 223-237. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v10nspe23/2007-0934-remexca-10-spe23-223-en.pdf>
- Nonalaya, K., & Marcañaupa, J. (2017). *Extracción y caracterización físicoquímica del aceite de semilla de chirimoya (Annona cherimola) y Guanábana (Annona muricata)*. Universidad Nacional del Centro del Perú. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/4375>
- Ocampo, J., Arias, J. C., & Urrea, R. (2015). Colecta e identificación de genotipos élite de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) en Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1), 9-23. <http://dx.doi.org/10.17584/rech.2015v9i1.3742>
- Ocampo, L., Urrea, R., Salazar, M., & Wyckhuys, K. (2013). Exploración de la viabilidad genética del maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener) como base para un programa de fitomejoramiento en Colombia. *Acta Agronómica*, 62(2), 352-360. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/download/33858/45148?inline=1

- Olán, M., Espitia, E., López, H., Villaseñor, H., Peña, R., & Herrera, J. (2012). Calidad física de grano de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) mexicanos de temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(2), 271-283. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i2.1462>
- Ordoñez, M., Gely, M., & Pagano, A. (2012). Estudio de las propiedades físicas y de la cinética de secado de granos de maíz colorado duro. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 3(3), 153-171. <https://www.redalyc.org/pdf/3236/323627687015.pdf>
- Ortega, G., Castro, C., Manobanda, M., Ayón, F., & López, P. (2017). Descripción morfológica y organoléptica de frutos de mango (*Mangifera indica* L.) cultivados en el cantón Jipijapa en Ecuador. *Journal Selva Andina Research Society*, 8(2), 145-154. <https://doi.org/10.36610/j.jsars.2017.080200145>
- Ozbayoglu, S. (2018). Energy production from coal. *Comprehensive Energy Systems*, 3, 788-821. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809597-3.00341-2>
- Pinzón, I., Fischer, G., & Corredor, G. (2007). Determinación de los estados de madurez del fruto de la Gulupa (*Passiflora edulis* Sims). *Agronomía Colombiana*, 25(1), 83-95. <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v25n1/v25n1a10.pdf>
- Pizá, H., Rolando, S., Ramírez, C., Villanueva, S., & Zapata, A. (2017). *Análisis experimental de la Elaboración de Bioplástico a partir de la Cáscara de Plátano para el Diseño de una Línea de Producción Alterna para las Chifleras de Piura, Perú*. Universidad de Piura. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3224/PYT_Informe_Final_Proyecto_Bioplastico.pdf
- Ramos, A., Ornelas, J., Tapia, L., Gardea, A., Ornelas, J., Ruiz, S., & Ríos, C. (2021). Effect of cultivar on the content of selected phytochemicals in avocado peels. *Food Research International*, 140, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110024>
- Resende, L., Franca, A., & Oliveira, L. (2019). Buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.) fruit by-products flours: Evaluation as source of dietary fibers and natural antioxidants. *Food Chemistry*, 270, 53-60. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.079>
- Rivadeneira, M. (2009). *Extracción de pectina líquida a partir de la cáscara de Maracuyá (*Passiflora edulis*) y su aplicación de un producto de humedad intermedia*. Ciudad de Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Litoral. https://www.researchgate.net/publication/43404190_Extraccion_de_pectina_liquida_a_partir_de_cascaras_de_Maracuya_Passiflora_edulis_y_su_aplicacion_en_el_desarrollo_de_un_producto_de_humedad_intermedia/link/0deec52efa2b1e00ff000000/download
- Palacio, A. E. (2017). *Lineamientos y estrategias de articulación de Asobofrucol con la agroindustria en pro del desarrollo hortifrutícola en Colombia*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/DocumentosContexto/S2561-Lineamientos%20ASOHOFrucol.pdf>
- Robayo, A. (2016). *Caracterización fisicoquímica de diferentes variedades de aguacate, *Persea americana* Mill. (Lauraceae) e implementación de un método de extracción del aceite de aguacate como alternativa de industrialización* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59452>
- Rodríguez, D. (2016). Natural food pigments and colorants. *Current Opinion in Food Science*, 7, 20-26. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.08.004>
- Rojas, A. F., & Flórez, C. (2019). Valorización de residuos de frutas para combustión y pirólisis. *Revista Politécnica*, 15, 42-53. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v15n28a4>

- Roldán, J. (2014). *Influencia de la humedad y densidad en la dureza como propiedad físico-mecánica de la madera*. Universidad de Valladolid. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/5822/TFM-L127.pdf;jsessionid=A45F50414E2E6C76412EB801D662B72E?sequence=1>
- Rubiano, K., Ciro, H., & Aristizábal, I. (2019). Aprovechamiento de los subproductos del mango, como fuente de compuestos bioactivos, para la elaboración de rollos comestibles. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 22(2), 1-9. <http://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1078>
- Rubio, L. E., Romero, S., Rojas, E. C., Durán, Á., & Gutiérrez, J. C. (2011). Variación del tamaño de frutos y semillas en siete especies de encino (*Quercus*, Fagaceae). *Polibotánica*, 32, 135-151. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682011000200008
- Sánchez-Camargo, A., Gutiérrez, L., Vargas, S., Martínez-Correa, H., Parada- Alfonso, F., & Narváez-Cuenca, C. (2019). Valorization of mango peel: Proximate composition, supercritical fluid extraction of carotenoids, and application as an antioxidant additive for an edible oil. *The Journal of Supercritical Fluids*, 152, 104574. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.104574>
- Sharma, M., Usmani, Z., Kumar, V., & Bhat, R. (2021). Valorization of fruits and vegetable wastes and by-products to produce natural pigments. *Critical Reviews in Biotechnology*, 41(4), 535-563. <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1873240>
- Siddesha, S., & Niranjana, S. (2019). Color and Texture in Classification of Coconut. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(8), 1745-1750. <https://www.ijitee.org/wp-content/uploads/papers/v8i8/H6837068819.pdf>
- Silva, P., Carvalho, A., Bastos de Freitas, B., Souza, G., Barros, E., & Damiani, C. (2021). A scientific approach to extraction methods and stability of pigments from Amazonian fruits. *Trends in Food Science & Technology*, 113, 335-345. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.047>
- Singh, S., Kaur, P., & Park, J. (2021). From coconut shell biomass to oxygen reduction reaction catalyst: Tuning porosity and nitrogen doping. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 147, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111173>
- Soto, C. (2014). *Proceso de fabricación de harina de coco (Cocos nucifera) para la obtención de un producto de panificación para personas celiacas* [Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1452_Q.pdf
- Terdwongworakul, A., Jarimopas, B., Chaiyapong, S., Singh, S., & Singh, J. (2010). Determination of Physical, Acoustical, Mechanical, and Chemical Properties of Fresh Young Coconut Fruit for Maturity Separation. *Journal of Testing and Evaluation*, 38(1), 1-8. <https://doi.org/10.1520/JTE102276>
- Toj, O. (2008). *Caracterización física, mecánica y química de fibras de desecho del fruto del coco, para utilización en matrices fibro-reforzadas* [Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/08/08_8571.pdf
- Torres, R., Montes, E., Pérez, O., & Andrade, R. (2013). Relación del color y del estado de madurez con las propiedades fisicoquímicas de frutas tropicales. *Información Tecnológica*, 24(3), 51-56. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000300007>
- Toscano, L., García, G., Gómez, F. J., Beltrán, G., Valenzuela, I. G., & Armenta, J. M. (2020). Análisis de las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de barra alimenticia a base de

- semillas y nueces sin componentes de origen animal. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 24(2). <https://doi.org/10.14306/renhyd.24.3.963>
- Umaña, G., Loría, C., & Gómez, J. (2011). Efecto del grado de madurez y las condiciones de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas de la papaya híbrido Pococí. *Agronomía Costarricense*, 35(2), 61-73. <https://doi.org/10.15517/rac.v35i2.6679>
- Vargas, M., Figueroa, H., Tamayo, J., Toledo, V., & Moo, V. (2019). Aprovechamiento de cáscaras de frutas: análisis nutricional y compuestos bioactivos. *Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 1-11. <https://doi.org/10.30878/ces.v26n2a6>
- Vargas, K. (2020). *Propuesta de la instalación de una planta de producción de compost a partir de desechos de la cosecha del banano para la asociación agropecuaria de Juliana Olmos* [Tesis de grado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/2595>
- Vega, M., Valenzuela, R., Reyes, A., Ibarra, E., & Ruíz, L. (2017). Evaluación de semilla de guayaba (*Psidium guajava* L.) como alternativa en la nutrición ruminal. *Abanico Veterinario*, 7(1), 26-35. <https://doi.org/10.21929/abavet2017.71.2>
- Velasco, V. (2020). *Valorización agroindustrial de pigmentos carotenoides extraídos de residuos de papaya (*Carica papaya* L.) y guayaba (*Psidium guajava*) como colorante natural en salchichas Frankfurt* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/78311/1113619347.2020.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Yan, L., Warnakulasuriya, F., Brennan, M., Brennan, C., Jayasena, V., & Coorey, R. (2016). Effect of extraction method and ripening stage on banana peel pigments. *International Journal of Food Science and Technology*, 51, 1449-1456. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13115>
- Yaradoddi, J., Banapurmath, N., Ganachari, S., Soudagar, M., Sajjan, A., Kamat, S., Mujtaba, M., Shettar, A., Anqi, A., Safaei, M., Elfasakhany, A., Haque, M., & Ashraf, M. (2021). Bio-based material from fruit waste of orange peel for industrial applications. *Journal of Materials Research and Technology*, 17, 3186-3197. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.09.016>