



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), Noviembre-Diciembre 2025,
Volumen 9, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6

CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE HARINAS DE PULPA, CÁSCARA Y SEMILLA DE YACA (ARTOCARPUS HETEROPHYLLUS) PARA LA VALORIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS ALIMENTARIOS

**CHARACTERIZATION OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF
JACKFRUIT (ARTOCARPUS HETEROPHYLLUS) PULP, PEEL, AND
SEED FLOURS FOR THE VALORIZATION OF FOOD BY-PRODUCTS**

Mayra Nicolás-García

Tecnológico Nacional de México

Julieta del Carmen Villalobos-Espinosa

Tecnológico Nacional de México

Daniela Monserrat Velázquez-Mora

Tecnológico Nacional de México

Georgina Alonso-Mendoza

Tecnológico Nacional de México

Claudia Hernández-Chávez

Tecnológico Nacional de México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6.20818

Caracterización de las Propiedades Físicas de Harinas de Pulpa, Cáscara y Semilla de Yaca (*Artocarpus heterophyllus*) para la Valorización de Subproductos Alimentarios

Mayra Nicolás-García¹mayra.ng@teziutlan.tecnm.mx<https://orcid.org/0000-0003-0077-0219>Tecnológico Nacional de México/ITS
de Teziutlán, Teziutlán, Puebla, México**Julieta del Carmen Villalobos-Espinosa**julieta.ve@teziutlan.tecnm.mx<https://orcid.org/0000-0001-8858-5127>Tecnológico Nacional de México/ITS
de Teziutlán, Teziutlán, Puebla, México**Daniela Monserrat Velázquez-Mora**danymonse2001@gmail.com<https://orcid.org/0009-0009-4063-057X>Tecnológico Nacional de México/ITS
de Teziutlán, Teziutlán, Puebla, México**Georgina Alonso-Mendoza**ginaalonsomen2709@gmail.com<https://orcid.org/0009-0009-4854-8482>Tecnológico Nacional de México/ITS
de Teziutlán, Teziutlán, Puebla, México**Claudia Hernández-Chávez**kayasangster2001@gmail.com<https://orcid.org/0009-0000-4192-9754>Tecnológico Nacional de México/ITS
de Teziutlán, Teziutlán, Puebla, México

RESUMEN

La yaca (*Artocarpus heterophyllus*) es una fruta tropical que posee un potencial funcional considerable que ha sido escasamente explorado en la literatura científica. Adicionalmente, su procesamiento industrial genera un volumen significativo de subproductos (principalmente cáscara y semilla). Ante la creciente demanda del sector alimentario por desarrollar productos con valor agregado y que promuevan la valorización de residuos, la caracterización integral de las harinas obtenidas a partir del fruto y sus subproductos de yaca representa una oportunidad clave para la innovación en ingredientes. Por lo tanto, el objetivo principal de este estudio fue caracterizar las propiedades físicas de las harinas obtenidas de la pulpa, cáscara y semilla de yaca, considerando dos estados de madurez del fruto: inmaduro y maduro. El contenido de humedad de la pulpa de yaca inmadura fue de 0.98%. Las propiedades físicas indicaron un mayor porcentaje en densidad aparente y compactada en cáscara de yaca inmadura (0.55 g/cm^3), lo que indica mayor compresibilidad y poca fluidez. Con respecto a la pulpa, la harina de yaca inmadura presentó una fluidez aceptable a muy pobre. Estos resultados establecen las bases fundamentales para determinar la viabilidad de la harina de cáscara de yaca como materia prima funcional en la industria alimentaria y biotecnológica.

Palabras clave: artocarpus heterophyllus; cáscara, pulpa, semilla, propiedades físicas

¹ Autor principal

Correspondencia: mayra.ng@teziutlan.tecnm.mx

Characterization of the Physical Properties of Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) Pulp, Peel, and Seed Flours for the Valorization of Food By-products

ABSTRACT

The jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) is a tropical fruit that possesses considerable functional potential that has been scarcely explored in the scientific literature. Additionally, its industrial processing generates a significant volume of by-products (mainly peel and seed). Given the growing demand in the food sector for developing value-added products that promote the valorization of waste, the comprehensive characterization of the flours obtained from the jackfruit and its by-products represents a key opportunity for ingredient innovation. Therefore, the main objective of this study was to characterize the physical properties of the flours obtained from the pulp, peel, and seed of jackfruit, considering two fruit maturity stages: immature and mature. The moisture content of the immature jackfruit pulp was 0.98%. The physical properties indicated a higher percentage in bulk and tapped density in immature jackfruit peel (0.55 g/cm^3), which suggests greater compressibility and poor flowability. Regarding the pulp, the immature jackfruit flour exhibited acceptable to very poor flowability. These results establish the fundamental basis for determining the viability of jackfruit peel flour as a functional raw material in the food and biotechnological industries.

Keywords: artocarpus heterophyllus; peel, pulp, seed, physical properties

Artículo recibido 27 septiembre 2025
Aceptado para publicación: 29 octubre 2025



INTRODUCCIÓN

La yaca (*Artocarpus heterophyllus*) es una fruta proveniente del continente asiático, considerado un árbol tropical de hoja perenne nativo de la India, perteneciente a la familia de las Moraceae. En México, Nayarit es el estado que cuenta con la mayor producción de esta fruta, y conforme al paso de los años se reporta que está se ha expandido por otros estados del país. Actualmente, el sector alimentario ha impulsado el desarrollo de alimentos con ingredientes de valor agregado que aporten nutrientes en la dieta, los cuales se les conoce como alimentos funcionales (Luna-Esquivel et al., 2013).

El fruto de la yaca se caracteriza por ser de gran tamaño llegando a tener un peso que oscila entre 10-25 kg y tarda aproximadamente 20 semanas en alcanzar su madurez (Luna-Jiménez, 2018).

El procesamiento del fruto de yaca genera residuos tales como la cáscara, residua, bagazo de pulpa y semillas. La pulpa tiene un agradable sabor dulce y de color amarillo que en su interior contiene una semilla de color marrón, los bulbos representan alrededor del 30% del peso total (John & Narasimham, 1993). La cáscara es un residuo en donde no se han implementado procesos de transformación adecuados, por lo que resulta necesario y conveniente la aplicación de métodos de procesamiento económicos y simples que contribuyan al aprovechamiento de dicho recurso natural debido que la yaca contiene nutrientes y compuestos que son de interés en el área de alimentos (Villalva-Peralta et al., 2023). Una de las características cruciales que deben cumplir las materias primas en polvo para su aplicación en la industria alimentaria es un conjunto adecuado de propiedades de flujo. Estas propiedades son fundamentales, ya que permiten garantizar una velocidad de dispersión óptima y un procesamiento eficiente del producto. La fluidez de un polvo depende directamente de dos factores principales: la morfología de las partículas (específicamente, su tamaño y distribución) y las fuerzas cohesivas interparticulares. Un material que presenta un tamaño y distribución de partículas homogéneos tenderá a fluir mejor que uno heterogéneo. Asimismo, fuerzas cohesivas elevadas entre las partículas disminuirán significativamente la fluidez del material (Gómez-Arciniegas, 2016). Esta investigación se enfocó en el estudio de las propiedades físicas de las harinas obtenidas de la pulpa y los subproductos de la yaca. El principal propósito fue otorgar un valor agregado a estos materiales y fomentar el aprovechamiento de residuos, como la cáscara, que tradicionalmente son desechados.



Los resultados demuestran la viabilidad de generar subproductos funcionales a partir de estos desechos, lo cual tiene implicaciones significativas para la innovación en la industria alimentaria y biotecnológica.

METODOLOGÍA

Materia prima

Los frutos utilizados para el desarrollo del trabajo de investigación se obtuvieron en la ciudad de Martínez de la Torre y del municipio del Mezclero, ambos del estado de Veracruz, se tomó en cuenta dos estados de madurez: 1) inmaduro y 2) maduro.

El fruto se despulpó con las medidas correctas de higiene para evitar su contaminación, las muestras de semilla, la pulpa y la cáscara se almacenaron para hasta su uso.

Obtención de la harina

La metodología para la obtención de harina de semillas de yaca se basó en la metodología descrita por Ramos-Farfán (2022), con algunas modificaciones. Tras el lavado inicial del fruto y la separación de sus componentes, las muestras fueron sometidas a un proceso de secado en un deshidratador (Iproods). La cáscara (Figura 1) y la pulpa (Figura 2) se secaron a una temperatura de 65 °C durante 72 h. Por su parte, las semillas requirieron un secado a 50 °C por 36 h. Posteriormente, las muestras secas se molieron inicialmente en una licuadora (Osterizer blendea) y, para obtener una harina fina, el material resultante se pulverizó en un molino eléctrico (Hamilton Beach/80393 Negro). Finalmente, la harina obtenida se almacenó en frascos de vidrio transparente hasta su posterior análisis.

Figura 1. Materia prima yaca (*Artocarpus heterophyllus*): a) Yaca (fruto del pan), b) Método de secado en cáscara de yaca y c) Harina de cáscara de yaca.



Figura 2. Proceso de obtención de harina: a) pulpa de yaca inmadura, b) pulpa inmadura deshidratada, c) harina de pulpa inmadura, d) pulpa de yaca madura, e) pulpa madura deshidratada y f) harina de pulpa madura.



Parámetros Morfométricos de la semilla

Las propiedades físicas se determinaron de acuerdo con la metodología descrita por Oyedeji et al. (2021). Las mediciones se realizaron utilizando un vernier digital (Stern/HER-411) y se determinaron los parámetros dimensionales de las semillas: largo, ancho y altura. Para la evaluación, se midieron y pesaron 100 semillas seleccionadas aleatoriamente, independientemente del estado de madurez. Posteriormente, los valores dimensionales obtenidos (largo, ancho y altura) se emplearon en las ecuaciones propuestas por Oyedeji et al. (2021) para calcular los siguientes descriptores morfométricos: diámetro medio geométrico (D_g), esfericidad, superficie (S), volumen de la semilla y área de la superficie de las semillas de yaca.

Diámetro Medio Geométrico

El diámetro medio geométrico (D_g), se determinó mediante la Ecuación 1.

$$D_g = (LWT)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde: L es Longitud (mm); W es ancho (mm); T es grosor (mm).

Esfericidad

La esfericidad de las semillas se determinó mediante la Ecuación 2.

$$\phi = (LWT)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde= L es Longitud (mm); W es Ancho (mm); T es grosor (mm).

Superficie (S)

La superficie se calculó, mediante la Ecuación 3.

$$S = \pi D m^2 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde: D es Diámetro medio geométrico; π es 3.1416.

Volumen de la Semilla

El volumen, V (mm³), de las semillas se calculó utilizando la Ecuación 4 (Wani et al., 2017):

$$V_g = \frac{\pi * W T L^2}{6 \left[2L - (WT)^{\frac{1}{2}} \right]} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde: L es longitud (mm); W es ancho (mm); T es grosor (mm).

Área de la Superficie de las Semillas

Para calcular el área de la superficie de la semilla, se implementó la Ecuación 5.

$$S = \frac{\pi B L^2}{2L - B} \quad \text{Ecuación 5}$$

Cuando: B es $(WT)^{1/2}$; L es Longitud (mm).

Propiedades físicas de la harina

Los parámetros físicos de la harina se determinarán mediante el método descrito por Adebawale et al. (2005), Gómez-Arciniegas (2016) y Porras-Saavedra et al. (2015) con modificaciones para las muestras de cáscara, pulpa y semillas, respectivamente.

Densidad aparente (Da)

La densidad aparente (Da) se define como la masa del polvo dividida entre el volumen aparente y es expresada como g/cm³. Se agregó una cantidad determinada de muestra en una probeta graduada de vidrio y se golpeteó suavemente contra una superficie plana, procurando que no queden espacios huecos entre las partículas. Se registró el peso y volumen ocupado por la muestra. Las determinaciones se realizaron por triplicado y calculó mediante la Ecuación 6:

$$\text{Densidad empacada} = m/v \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde: m= peso de la muestra (g), v= volumen final (cm³).



Densidad compactada (Dc)

La densidad empacada se define como la cantidad de masa total del polvo con respecto al volumen del polvo compactado. La reducción de volumen se obtiene por el asentamiento de la muestra, cuando se levanta la probeta que lo contiene y se impacta desde una altura específica. Posteriormente, se levantó la probeta a una altura entre 10 y 5 cm y se impactó 100 veces sobre una superficie plana y suave, a un ritmo constante. Se registró el volumen compactado, con una aproximación a la unidad más cercana de la escala de la probeta. Por último, se calculó la densidad compactada utilizando la Ecuación 7.

$$\text{Densidad compactada} = \frac{m}{V_f} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde: m= masa de la muestra en la probeta; V_f = Volumen final compactado.

Índice de Carr y coeficiente de Hausner

Es un valor relacionado con la fluidez de un polvo, tomando en cuenta la densidad aparente y la densidad compactada. Ambas mediciones expresan la propensión de un polvo a compresión (Salim et al., 2024).

El índice de Carr se obtuvo mediante la Ecuación 8:

$$\text{Índice de Carr} = \frac{D_e - D_a}{D_a} \times 100 \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde: D_e = Densidad empacada; D_a es densidad aparente.

Coeficiente de Hausner

Se determinó mediante el cociente de la densidad aparente y la densidad empacada. El CH se calculó mediante la Ecuación 9.

$$\text{Coeficiente de Hausner} = \frac{D_e}{D_a} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde: D_e es densidad empacada; D_a es densidad aparente.

Determinación de humedad

Se siguió la metodología de la AOAC (1990) con modificaciones. Se realizaron charolas de aluminio que se sometieron a peso constante durante 24 h a una temperatura de 110 °C. Posteriormente, se pesaron y se colocó 1 g de muestra en cada charola tarada en una estufa de secado de laboratorio a 110 °C durante 24 h, al finalizar este periodo, las charolas con muestra se dejaron enfriar en un desecador al vacío y finalmente fueron pesadas. El análisis se realizó por triplicado (n=3). El porcentaje de humedad fue determinado mediante la Ecuación 10:



$$\text{Humedad (\%)} = \frac{M1-M2}{M} \times 100$$

Ecuación 10

Donde: M1=Peso del crisol más muestra húmeda (peso inicial); M2= Peso del crisol más muestra seca (peso final); M= Peso de la muestra.

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron reportados como el promedio + desviación estándar. Las diferencias significativas ($p \leq 0.05$) se realizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA por sus siglas en inglés) mediante la prueba de Tukey usando el software KaleidaGraph.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros Morfométricos

Los resultados de las mediciones morfométricas, presentados en la Tabla 1, indican que las semillas de yaca tienen un promedio de 28.19 mm de largo, 15.86 mm de ancho y 21.55 mm de altura (Figura 3). Ramli et al. (2020) reportaron un rango de de 2-3 cm de largo (20-30 mm) para las semillas de yaca, valores que son consistentes con los obtenidos en esta investigación. Aunque los estudios morfométricos específicos en la semilla de yaca son limitados, la comparación con otras semillas de interés agroindustrial es relevante. Por ejemplo, Delgado-Soriano et al. (2020) evaluaron la leguminosa *Erythrina edulis*, reportando dimensiones considerablemente mayores: .35, 2.58 y 1.99 cm para el largo, ancho y espesor, respectivamente. Por otra parte, para las semillas de cacao (*Theobroma cacao* L.), Ramírez-Guillermo et al. (2018) reportaron valores de 22.8 y 8.5 mm para largo y espesor. Los valores dimensionales obtenidos en esta investigación se encuentran en un rango comparable a los reportados en la literatura para la yaca y no difieren significativamente de los parámetros morfométricos de otras semillas con potencial industrial.

Los parámetros morfométricos son herramientas esenciales que permiten describir y comparar la variación morfológica de las semillas de yaca con otras especies similares, facilitando la identificación de posibles diferencias de comportamiento asociadas a su entorno (Luna, 2020). En esta investigación, se observó que la morfología de las semillas de yaca mantuvo una uniformidad, lo que indica que el estado de madurez del fruto no tuvo una influencia significativa en sus dimensiones. Por otra parte, el tamaño de la semilla es un rasgo que depende de las condiciones ambientales de crecimiento y de la



capacidad de adaptación al medio. Además, la morfología está intrínsecamente relacionada con el material de reserva que las semillas necesitan para subsistir durante la etapa de germinación. De manera general, las especies que habitan las regiones tropicales y subtropicales suelen caracterizarse por poseer semillas de gran tamaño (Moreno-Casasola, 2003).

Figura 3. Semillas de yaca (*Artocarpus heterophyllus*). A) semillas cortadas en mitades; B) semillas enteras



Tabla 1. Parámetros morfométricos de la semilla de yaca.

Parámetros	Resultado
Altura (mm)	21.55 ± 1.84
Ancho (mm)	15.86 ± 1.69
Largo (mm)	28.20 ± 2.49
Esfericidad (mm)	0.76 ± 0.05
Diámetro geométrico (mm)	21.23 ± 1.36
Superficie (mm ²)	1421.97 ± 184.68
Volumen (mm ³)	3791.68 ± 769.31
Relación aspecto	0.57 ± 0.07
Área superficial (mm ²)	1221.98 ± 160.44

Los resultados representan el promedio ± desviación estándar (n=100).

Propiedades Físicas

En la Tabla 2 se muestra que la harina de cáscara de yaca inmadura (YI) presentó un contenido de humedad del 7.59%. Este valor es superior al 5.65% reportado por Sousa et al. (2021) para la harina de cáscara de yaca obtenida mediante un método de secado a 60 °C. Esta diferencia es mínima y puede atribuirse a las variaciones en los protocolos de secado. En contraste, la harina de cáscara de yaca madura (YM) registró un contenido de humedad significativamente mayor, alcanzando el 13.83%.

Este resultado indica una retención hídrica superior en la cáscara durante la etapa de maduración. Comparando los resultados de la harina de cáscara de yaca madura, Villalva-Peralta et al. (2023) realizaron el análisis de humedad en harina de corteza de yaca (sin especificar el estado de madurez) mediante un tratamiento térmico en estufa a una temperatura de 110 °C, por 2 h y reportaron un porcentaje de 89.99%. Esta diferencia se deba a variaciones significativas en la metodología. Diversos estudios respaldan esta interpretación al señalar que el análisis del contenido de humedad por secado es afectado por múltiples factores, incluyendo la temperatura, el tiempo, el peso de la muestra y la metodología empleada. Diversos estudios respaldan que la determinación del contenido de humedad mediante secado depende significativamente de variables como la temperatura, el tiempo de secado, el peso o espesor de la muestra y la metodología utilizada, lo que puede afectar la precisión y comparabilidad de los resultados (Martines-López et al., 2018; Zeng et al., 2024; Billah et al., 2025). Con respecto a los parámetros de densidad, se observó una diferencia mínima entre los valores de densidad aparente y compactada de las muestras. Sin embargo, la harina de cáscara de yaca inmadura (YI) registró consistentemente el menor porcentaje en densidad. Este resultado puede atribuirse a la presencia de resina en la cáscara inmadura, lo que confiere al polvo una estructura menos densa y más porosa. De acuerdo con Adán et al. (2020), la resina de la cáscara de yaca es de tipo fenólico y desempeña una función crucial en el fruto: proporcionar impermeabilidad debido a su alta resistencia a la humedad, además de ofrecer protección contra el frío y la sequía. El mayor porcentaje de humedad observado en la cáscara de yaca madura (YM) se atribuye a que, en esta etapa, el fruto ha alcanzado sus características organolépticas óptimas, resultando en una menor resistencia estructural de la cáscara. En general, las propiedades físicas, como la densidad, dependen de múltiples factores, incluyendo el tamaño, peso y dureza de las partículas, los cuales están ligados a la estructura y funcionalidad con la pulpa y la semilla (Villalva-Peralta et al., 2023). Los resultados de los índices de flujo mostraron una marcada diferencia entre los estados de madurez. La harina de cáscara inmadura (YI) registró un Índice de Carr de 51.51 y un Coeficiente de Hausner de 1.51. De acuerdo con Gómez-Arciniegas (2016), una compresibilidad superior a 38 indica que las propiedades de flujo son extremadamente malas, confirmando que a mayor compresibilidad, peor es la fluidez del polvo. En contraste, la harina de cáscara madura (YM) exhibió una propiedad de flujo aceptable (dentro del rango 18-22 de



compresibilidad). Este comportamiento sugiere una mayor capacidad de la harina de YM para deformarse o disminuir su volumen bajo presión, lo que se traduce en un mejor desempeño durante el manejo y procesamiento industrial (Gómez-Arciniegas, 2016). En la pulpa de yaca, el contenido de humedad de la harina inmadura (PYI) fue menor en comparación con la harina obtenida en estado maduro. En estudios previos sobre harina de yaca, se ha reportado que los valores de humedad para harinas secas generalmente oscilan entre 7% y 11%. Este rango está influenciado por el método de secado empleado y el estado de madurez de la pulpa. Específicamente, para la harina de pulpa inmadura se han reportado contenidos de humedad en un rango de 7-8% (Ranasinghe & Marapana, 2018; Novita et al., 2023), mientras que para la harina de yaca madura los valores suelen situarse entre el 8.5 – 11.4% (Ranasinghe, 2019; J., 2022).

De acuerdo con la clasificación de los parámetros de flujo (Tabla 2), la harina de pulpa inmadura (PYI) presentó una fluidez variable que osciló entre aceptable y muy pobre, según los valores de los índices de Carr (IC) y Coeficiente de Hausner (CH). Por otra parte, la pulpa madura (PYM) exhibió una fluidez excelente. En la Tabla 2 se puede observar que el contenido de humedad de la semilla en el estado inmaduro (YI) y maduro (YM) osciló de 7 y 6%, respectivamente. Swami & Kalse (2018) y Hossain et al. (2014) obtuvieron valores similares de 6.09% y 6.29%, respectivamente, asimismo, Tramontin et al. (2019) y Le et al. (2020) reportaron 10.17% y 9.40% de humedad, respectivamente. Sin embargo, estos estudios no especifican el estado de madurez evaluado. Por otra parte, Ranasinghe & Marapana (2019) evaluaron dos estados de madurez (inmaduro y maduro) y su contenido de humedad fue muy elevado 86.18% y 70.94%, respectivamente en comparación con los resultados de este proyecto. Aunque los valores son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$), no difieren en su mayoría con los reportados por otros autores. La modificación de compuestos volátiles, azúcares y ácidos orgánicos son factores que influyen en el comportamiento de los nutrientes presentes en las frutas puesto que son cambios que ocurren dentro de la madurez de consumo (Martínez-González et al., 2017). También puede deberse a la ubicación geográfica en donde se obtuvo el fruto y condiciones de manejo post-cosecha (Noor et al., 2014).

Actualmente, no se han reportado las propiedades físicas de la harina de semilla de yaca, sin embargo, Pérez et al. (2023) determinaron estos parámetros en harina de frijol negro, lenteja y avena obteniendo



valores de 0.7321, 0.7569 y 0.2996 g/mL para Da y 0.9376, 0.8876 y 0.7753 g/mL para De, respectivamente.

Por otra parte, Almora-Hernández et al. (2022) evaluaron las propiedades físicas de polvos de hojas de moringa con diferentes tamaños de partícula. Observaron que oscilan entre 0.3655-0.4560 g/mL, 0.3071 y 0.3831 g/mL para Da, con respecto al índice de Carr (IC) y coeficiente de Hausner (CH) variaron de 19.02-22.06% y 1.19-1.22, respectivamente de acuerdo al tamaño de los tamices. Villena-Carrión (2023) reportó valores de 0.350 y 0.299 g/cm³ para Da y 0.389 y 0.335 para De en harina de 200 y 45 µm, respectivamente. La harina con tamaño de 200 µm mostró un IC de 1.389% y CH de 1.09, mientras que la harina con tamaño de 45 µm presentó 10.7% y 1.119, respectivamente. Los valores de Da y De tienen relación entre sí ya que pueden indicarnos el comportamiento del producto (la harina) durante su almacenamiento, manipulación y procesamiento. Mientras mayor sea el volumen que ocupe la harina, menor densidad tendrá, esto debido a las interacciones que mantiene las partículas entre sí (Almora-Hernandez et al., 2022; Pérez et al., 2023). Por otra parte, los parámetros de IC, CH, Da y De muestran una idea del comportamiento y fluidez que tiene la harina, lo cual ayuda para el diseño del envase. El IC y CH se basan en la capacidad que tiene la harina para compactarse y en la fricción que se da entre las partículas (Villena-Carrión, 2023).

Tabla 2. Propiedades físicas de la harina de cáscara, pulpa y semilla de yaca (*Artocarpus heterophyllus*)

EM	Humedad (%)	Densidad aparente (g/cm ³)	Densidad empacada (g/cm ³)	Índice de Carr (%)	Coeficiente de Hausner
Cáscara					
YI	7.59 ± 0.18 ^a	0.323 ± 0.01 ^a	0.489 ± 0.01 ^a	51.51 ± 0.00 ^a	1.51 ± 0.00 ^a
YM	13.83 ± 0.19 ^b	0.550 ± 0.03 ^b	0.66 ± 0.01 ^b	21.21 ± 6.56 ^b	1.21 ± 0.06 ^b
Pulpa					
YI	0.98 ± 0.34 ^a	0.51 ± 0.00 ^a	0.68 ± 0.03 ^a	32.89 ± 5.46 ^a	1.32 ± 0.05 ^a
YM	15.99 ± 5.81 ^b	0.41 ± 0.00 ^b	0.53 ± 0.01 ^a	3.42 ± 1.22 ^b	1.03 ± 0.01 ^a
Semilla					
YI	7.90 ± 0.77 ^b	0.53 ± 0.01 ^b	0.69 ± 0.04 ^a	29.45 ± 5.18 ^a	1.29 ± 0.05 ^a
YM	10.84 ± 0.37 ^a	0.49 ± 0.01 ^a	0.58 ± 0.03 ^b	18.53 ± 8.77 ^a	1.19 ± 0.09 ^a

Los resultados representan el promedio $\pm$ desviación estándar ($n=3$). En las columnas letras diferentes indican diferencia significativa ($p\leq 0.05$) de acuerdo al estado de madurez en cada una de las estructuras que componen el fruto. EM: Estado de madurez; YI: Yaca Inmadura; YM: Yaca Madura.

CONCLUSIONES

A pesar de que el fruto de yaca no se ha explotado en su totalidad en México, los resultados de esta investigación demuestran la variabilidad de las propiedades físicas de la pulpa en función de su estado de madurez y de los tratamientos aplicados. Se concluye que la cáscara, la pulpa y la semilla poseen características físicas adecuadas para ser valorizadas como ingredientes en la industria alimentaria. Es crucial que se considere el estado de madurez del fruto, ya que este factor interviene significativamente en las propiedades fisico-químicas, dada la transformación de compuestos durante la maduración. Los hallazgos presentados establecen la viabilidad del uso de la cáscara de yaca en las industrias alimentaria y biotecnológica, sentando las bases para la valorización de desechos orgánicos. Para potenciar su aplicación, se recomienda realizar análisis más profundos que permitan determinar la composición completa de la cáscara de yaca en ambos estados de maduración, facilitando así el desarrollo de nuevos productos con valor agregado.

REFERENCIAS

- Adán, Á., Ojwang, R., Muge, E., Mwanza, B., & Nyaboga, E. (2020). Phytochemical composition and essential mineral profile, antioxidant and antimicrobial potential of unutilized parts of jackfruit. *Journal of Food Science*, 4, 1125-1134. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(4\).326](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(4).326).
- Adebowale, Y. A.; Adeyemi, I. A.; Oshodi, A. A. 2005. Functional and physicochemical properties of flours of six *Mucuna* species. *African Journal of Biotechnology*, 4 (12):1461-1468.
- Almora-Hernández, E., Campa-Huergo, C., & Rodríguez-Jiménez, E. (2022). Correlación granulometría-densidad de los polvos de hojas secas de *Moringa oleifera* de diferentes tamices. *Tecnología Química*, 42 (1), 131-141.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (1990). Official methods of analysis. (15.a ed.). Association of Official Analytical Chemists, Inc
- Billah, M., Zannat, N., Hossain, M., Sachcha, I., Yasmin, S., & Sarker, M. (2025). Process Optimization of Fluidized Bed Drying for Water Spinach: Evaluating the Effect of Blanching Through RSM



- and ANN Models. *Food Science & Nutrition*, 13. <https://doi.org/10.1002/fsn3.70114>.
- Delgado-Soriano, V., Cortés-Avendaño, P., Guevara-Pérez, A., & Vélchez-Perales, C. (2020). Características físico-químicas de las semillas de pajuro (*Erythrina edulis* Triana) y propiedades funcionales después de la extrusión. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22 (3), 263-273.
- Gómez-Arciniegas, J. (2016). Caracterización granulométrica de un producto comercial en polvo (suplemento dietario) y evaluación de la capacidad de dispersión en agua. Tesis de Licenciatura, Universidad ICESI. Disponible en: <https://repository.icesi.edu.co/server/api/core/bitstreams/5f9b8cf2-9319-7785-e053-2cc003c84dc5/content>
- Hossain, M. T., Hossain, M. M., Sarker, M., Shuvo, A. N., Alam, M. M., & Rahman, M. S. (2014). Development and quality evaluation of bread supplemented with jackfruit seed flour. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3 (5), 484. <https://doi.org/10.11648/j.ijnfs.20140305.28>
- J., E. (2022). Effect of Jackfruit Pulp Inclusion on the Physicochemical and Sensory Properties of Cake. *Food Science & Nutrition Technology*. <https://doi.org/10.23880/fsnt-16000212>.
- John, P. J. & Narasimham, P. (1993) Processing and evaluation of carbonated beverage from jackfruit waste (*Artocarpus heterophyllus*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 16 (6). 373-380. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.1993.tb00217.x>
- Le, T. H. T., Nguyen, H. T., Nguyen, V. K., Nguyen, T. L., & Nguyen, T. T. (2020, June). Effect of HCl-Alcoholic treatment on the modification of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam) seed starch. *Materials Science Forum*, 991, 150-156. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.991.150>
- Luna, E. D. (2020). Integrando análisis morfométricos y filogenéticos: de la sistemática fenética a la morfometría filogenética. *Acta Botánica Mexicana*, (127). <https://doi.org/10.21829/abm127.2020.1640>
- Luna-Esquivel, G., Alejo-Santiago, G., Ramírez-Guerrero, L. G., & Arévalo-Galarza, M. D. L. C. (2013). La yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) Un fruto de exportación. *Agroproductividad*, 6 (5), 65+.



<https://link.gale.com/apps/doc/A382430310/IFME?u=anon~ac0e3d48&sid=googleScholar&xid=fc4a8a80>

- Luna-Jiménez, B. N. (2018). Determinación de las Condiciones de Pretratamientos para el Proceso de Secado de la Pulpa de Yaca o Jaca (*Artocarpus heterophyllus*) [Tesis]. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/45522/K%2065572%20Luna%20Jim%C3%A9nez%20Brenda%20Nayetxi.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martínez-López, E., & Lira-Cortes, L. (2018). Application of the Luikov's Model in the Moisture Content Measurement of Solid Materials by the Drying Method. *International Journal of Thermophysics*, 40, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s10765-018-2461-5>.
- Martínez-González, M. E., Balois-Morales, R., Alia-Tejagal, I., Cortes-Cruz, M. A., Palomino-Hermosillo, Y. A., & López-Gúzman, G. G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 8 (spe19), 4075-4087. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.674>
- Moreno-Casasola, P. (2003). Vida y obra de granos y semillas (No. Sirsi) i9681669525).
- Noor, F., Rahman, M. J., Mahomud, M. S., Akter, M. S., Talukder, M. A. I., & Ahmed, M. (2014). Physicochemical properties of flour and extraction of starch from jackfruit seed. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3 (4), 347-354. <https://doi.org/10.11648/j.ijnfs.20140304.27>
- Novita, N., Sarofa, U., & Winarti, S. (2023). THE EFFECT OF THE PROPORTION OF JACKFRUIT (*Artocarpus heterophyllus*) SEED FLOUR AND THE ADDITION OF EGGS ON THE CHARACTERISTICS OF DRY NOODLES. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*. <https://doi.org/10.21776/ub.jpa.2023.011.03.6>.
- Oyediji, A. B., Sobukola, O. P., Green, E., & Adebo, O. A. (2021). Physical properties and water absorption kinetics of three varieties of *Mucuna* beans. *Scientific Reports*, 11 (1), 5450. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85087-8>
- Pérez, P. H., Herrera, A. R., & Aguilar, M. C. (2023). Desarrollo de un producto de panificación con harinas de leguminosas y cereales complementado con trüb. *Investigación y Desarrollo En*



- Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8 (1), 686-696. <https://doi.org/10.29105/idcyta.v8i1.90>
- Porras-Saavedra, J., Palacios-González, E., Lartundo-Rojas, L., Garibay-Febles, V., Yáñez-Fernández, J., Hernandez-Sanchez, H., & Alamilla-Beltran, L. (2015). Propiedades microestructurales y distribución de componentes en micropartículas obtenidas por secado por aspersión. *Revista de Ingeniería de Alimentos*, 152, 105-112.
- Ramírez-Guillermo, M. Á., Lagunes-Espinoza, L. C., Ortiz-García, C. F., Gutiérrez, O. A., & Rosa-Santamaría, R. D. L. (2018). Variación morfológica de frutos y semillas de cacao (*Theobroma cacao* L.) de plantaciones en Tabasco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41 (2), 117-125.
- Ramli, A. N. M., Badruzaman, S. Z. S., Hamid, H. A., & Bhuyar, P. (2021). Antibacterial and antioxidative activity of the essential oil and seed extracts of *Artocarpus heterophyllus* for effective shelf-life enhancement of stored meat. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45 (1), e14993.
- Ramos Farfán, N. R. (2022). Obtención de harina a partir de las semillas de yaca (*Artocarpus heterophyllus*).
- Ranasinghe, R. A. S., & Marapana, R. A. U. J. (2019). Effect of maturity stage on physicochemical properties of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) flesh.
- Ranasinghe, R. Effect of Maturity Stage on Physicochemical Properties of Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) Flesh. . 2019
- Ranasinghe, R., & Marapana, R. (2018). Effect of Stage of Maturity on Physicochemical Properties of Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) Flesh.
- Salim, I., Khalid, G., Wada, A., Danladi, S., Kurfi, F., & Yola, U. (2024). Critical analysis of powder flow behaviour of directly compressible coprocessed excipients. *Fudma Journal of Sciences*. <https://doi.org/10.33003/fjs-2023-0706-2080>.
- Sousa, A., Campos, A., Gomes, J., Costa, J., De Macedo, A., & De Santana, R. (2021). Cinética de secagem de resíduos de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.). *Research, Society and Development*, 10. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12610>.
- Swami, S. B., & Kalse, S. B. (2018). Biodiversity, Nutritional Contents, and Health. *Bioactive Molecules in Food*, 1-23.



- Tramontin, D. P., Cadena-Carrera, S. E., Bella-Cruz, A., Cruz, C. C. B., Bolzan, A., & Quadri, M. B. (2019). Biological activity and chemical profile of Brazilian jackfruit seed extracts obtained by supercritical CO₂ and low-pressure techniques. *The Journal of Supercritical Fluids*, 152, 104551.
- Villalva Peralta, V., Gama Gálvez, M. de los Ángeles, Salmerón, B. G., Ramos, G. G., & Vargas Sotomayor, N. A. (2023). Evaluación química, actividad antioxidante y cuantificación de flavonoides de la semilla y cáscara de yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam). *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7 (1), 7348-7372. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4973.
- Villena Carrión, J. (2023). Perfil nutricional de la vaina del haba (*Vicia faba*) y propiedades tecnofuncionales de su harina.
- Wani, I. A, Sogi, D.S, Wani, A.A & Gill, B.S. (2017). Características físicas y culinarias de algunos cultivares de frijol indio (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista de la Sociedad Saudita de Ciencias Agrícolas*, 16 (1), 7-15.
- Zeng, Z., Han, C., Wang, Q., Yuan, H., Zhang, X., & Li, B. (2024). Analysis of drying characteristic, effective moisture diffusivity and energy, exergy and environment performance indicators during thin layer drying of tea in a convective-hot air dryer. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1371696>.

