

© 2024 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.

Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 27: 1-11, 2024.

<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2024.677>

Propiedades físicas y mecánicas de las semillas de marañón (*Anacardium occidentale*) cultivadas en la Cuenca del Papaloapan, Veracruz, México

Adolfo Amador-Mendoza¹, Jesús Rodríguez-Miranda²,
Keila Castellanos-Miravete³ y Humberto Rafael Bravo Delgado^{4*}

¹Universidad del Papaloapan, Laboratorio Químico-Biológico, Ciudad Universitaria, Av. Ferrocarril s/n, Loma Bonita, 68400, Oaxaca, México. ²Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtepec, Calzada Dr. Víctor Bravo Ahúja No. 561, Col. Predio el Paraíso, Tuxtepec, 68350, Oaxaca, México. ³Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Juan Rodríguez Clara, Carretera a Nopalapan, Col. Las Bodegas, Km. 1. Juan Rodríguez Clara, 95670, Veracruz, México. ⁴Universidad Tecnológica de Tehuacán, Laboratorio de Fitopatología, Prolongación de 1 sur 1101, San Pablo Tepetzingo, Tehuacán, 75859, Puebla, México. E-mail: *rafael.bravo@uttehuacan.edu.mx

RESUMEN

Al árbol *Anacardium occidentale*, se le conoce como marañón y al fruto como la nuez de anacardo o castaña de cajú, que es a su vez la semilla y está cubierta por una cáscara dura. Es originario principalmente de Brasil y Venezuela; sin embargo, en México crece en el sureste por el tipo de clima tropical adaptable para su cultivo. El objetivo de este trabajo fue determinar las propiedades físicas y mecánicas de las semillas al considerar: longitud (l), ancho (b), grosor (t), masa (Ms), volumen (V), diámetro geométrico (Dg), diámetro aritmético (Da), forma geométrica ($S\phi$), porosidad (ϵ), área de superficie (S_a), superficie específica (Ss), hidratación (Hc), índice de hidratación (Hi), hinchamiento (Sc), índice de hinchamiento (Hi), densidad del sólido (ps), densidad aparente (pb), ángulo de reposo (\emptyset), coeficiente de fricción (μ) y fuerza de ruptura (R_f). Los valores obtenidos fueron: longitud (l), 25.599 mm (rango 10.515-37.084); ancho (b), 12.249 mm (rango 7.416-23.926) y grosor (t), 11.851 mm (rango 7.13-19.812). Los diámetros aritmético y geométrico y el volumen correspondieron a 1.656 cm, 1.245 cm y 0.015 cm³ respectivamente. Los resultados de este estudio proporcionan una base de información útil para el diseño de equipo industrial necesario en la manipulación, el almacenaje y el transporte de la nuez.

Palabras clave: Cuenca del Papaloapan, propiedades físicas y mecánicas, semillas de marañón.

Physical and mechanical properties of cashew seeds (*Anacardium occidentale*) cultivated in the Cuenca del Papaloapan, Veracruz, México

ABSTRACT

The *Anacardium occidentale* tree is known as cashew and the fruit as cashew nut or cashew nut, which is in turn the seed and is inside a hard shell is native mainly from Brazil and Venezuela. However, in Mexico it grows in the southeast due to the type of tropical climate adaptable for its cultivation. The objective of this work was to determine the physical and mechanical properties of the seeds by considering: length (l), width (b), thickness (t), mass (Ms), volume (V), geometric diameter (Dg), arithmetic diameter (Da), geometric shape ($S\phi$), porosity (ϵ), surface area (S_a), specific surface area (Ss), hydration (Hc), hydration index (Hi), swelling (Sc), swelling index (Hi), solid density (ps), bulk density (pb), angle of repose (\emptyset), coefficient of friction (μ) and rupture force (R_f). The values obtained were: length (l), 25.599 mm (range 10.515-37.084); width (b), 12.249 mm (range 7.416-23.926) and thickness (t), 11.851 mm (range 7.13-19.812). The arithmetic diameter, geometric diameter and volume corresponded to 1.656 cm, 1.245 cm and 0.015 cm³ respectively. The results of this study provide a useful information base for the design of industrial equipment necessary for the handling, storage and transportation of walnuts.

Keywords: Cashew seeds, Cuenca del Papaloapan, physical and mechanical properties.

Artículo recibido el 06 de febrero del 2023.

Artículo aceptado el 14 de octubre del 2024.

INTRODUCCIÓN

El marañón (*Anacardium occidentale* L.) es un árbol nativo de América tropical, originario de la zona central de Brasil. Su estado natural es silvestre en las sabanas de Colombia, Venezuela y las Guayanas. Se cultiva en la mayoría de las regiones tropicales de América, África, Asia y Australia (Food and Agriculture Organization, 2021), así como en el sureste de México, principalmente en los estados de Chiapas, Veracruz, Yucatán y Oaxaca, debido a su clima tropical adaptable para su cultivo. En el sur de la Cuenca del Papaloapan, en el estado de Veracruz, específicamente en los municipios de Ciudad Isla y Juan Rodríguez Clara, se cosecha la nuez de anacardo o castaña de cajú, a la que se le atribuyen propiedades medicinales. Esto se debe a su composición química, que consiste en un 8.61 % de agua, 18.28 % de proteína, 41.9 % de extracto etéreo, 0.48 % de fibra cruda, 2.4 % de ceniza, 28.86 % de carbohidratos, 0.51 % de fósforo, 0.69 % de potasio, 0.20 % de magnesio, 588 mg/kg de calcio, 65 mg/kg de hierro y 66 mg/kg de zinc (Coto, 2003; Díaz, 2009). Por esto se han convertido en una industria a la que es probable que se incorporen nuevas materias primas, extraídas de las semillas de *A. occidentale*, lo que promueve el interés de su explotación en México. Sin embargo, es necesario estudiar las propiedades físico-mecánicas con el fin de mejorar el diseño y la construcción de equipo y estructuras para el manejo, la recolección, el transporte, el almacenamiento, la limpieza, la clasificación y el procesamiento agroindustrial. Por lo que el objetivo de este trabajo fue el análisis de estas propiedades con el fin de obtener información para la formulación de propuestas que reduzcan los costos y las pérdidas actuales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recopilación de la muestra

Las muestras utilizadas fueron las nueces de *A. occidentale*, recolectadas en los cultivos del Tecnológico Nacional de México Campus Juan Rodríguez Clara, Veracruz, México; en las coordenadas geográficas de los paralelos 17° 45' y 18° 12' de latitud norte, y los meridianos 95° 11' y 95° 32' de longitud oeste, a una altitud entre 10 y 200 m. El desarrollo de la presente investigación se realizó con un equipo para medir propiedades mecánicas y en colaboración con la Universidad del Papaloapan, Campus Loma Bonita, y el Tecnológico Nacional de México, Campus Tuxtepec, Oaxaca.

Extracción y selección de la semilla

El retiro de la cáscara de la nuez se hizo, a través del método de cocción a una temperatura de 60 °C durante 30 min en una parrilla de agitación magnética (Corning PC-420D, Reino Unido), para la posterior extracción de las semillas enteras.

Medición de los parámetros físicos

Se eligieron 200 semillas, las de mejor tamaño, forma y el menor daño en su estructura física, se les asignó un número para el

control de los datos derivados de la investigación. Se les tomaron las medidas físicas principales: longitud (*l*), ancho (*b*) y grosor (*t*); como base para evaluar mediante expresiones algebraicas (los diámetros aritmético y geométrico, el volumen, la forma geométrica, la porosidad, las densidades aparente y sólida, el área de superficie, la superficie específica, las capacidades e índices de hidratación y de hinchamiento). La herramienta de medición fue un calibrador Vernier digital (modelo No: STD Y MM 14388, precisión ± 0.1 mm) (Niveditha & Sridhar, 2012a; Altuntas & Yildiz, 2007; Haciseferogullari, Gezer, Bahtiyarca & Menges, 2003).

Dimensiones y peso

Se registró el peso de cada una de las semillas de la muestra seleccionada, con una balanza analítica digital (Ohaus Scout pro sp4001 portable benchtop 4000 gram scale electronic balance, USA) y se determinaron tres dimensiones físicas: longitud (*l*), grosor (*t*) y ancho (*b*).

Diámetro

Mediante las ecuaciones 1 y 2, se calcularon los diámetros el aritmético “*Da*” y el geométrico “*Dg*” y con base en las dimensiones físicas, las dimensiones ortogonales: longitud (*l*), grosor (*t*) y ancho (*b*) tomadas de cada una de las semillas, las cuales fueron medidas con un calibrador Vernier digital (modelo No: STD Y MM 14388, precisión ± 0.1 mm), (Niveditha, Sridhar & Balasubramanian, 2013; Altuntas & Yildiz, 2007; Bahnasawy, 2007; Haciseferogullari, Gezer, Bahtiyarca & Menges, 2003).

$$Da (cm) = \frac{l + b + t}{3} \quad (1)$$

$$Dg (cm) = (l \cdot b \cdot t)^{1/3} \quad (2)$$

Volumen

El volumen por unidad se obtuvo con la ecuación 3:

$$Vu (cm^3) = \frac{[4/3 \pi \cdot (l \cdot b \cdot t)]}{1000} \quad (3)$$

Donde “*Vu*” es el volumen por unidad, “*l*” es la longitud, “*b*” es el ancho y “*t*” es el grosor de la semilla como se muestra en la Figura 1 (Mohsenin, 1986).

Forma geométrica

Se obtuvo mediante la ecuación 4:

$$S\varphi = \frac{Dg}{l} \quad (4)$$

Donde “*Sφ*” es la forma geométrica, “*Dg*” es el diámetro geométrico y “*l*” es la longitud (Mohsenin, 1986).

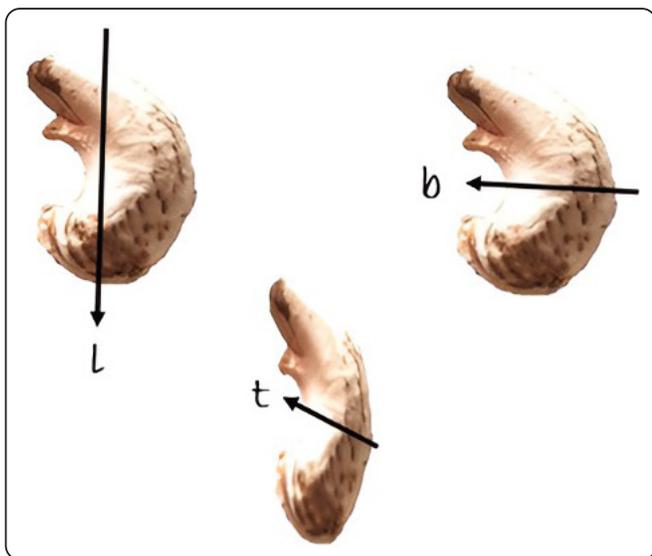


Figura 1. Características físicas de las semillas (nuez) de *Anacardium occidentale* (l: longitud, b: ancho y t: grosor).

Porosidad

La porosidad fue determinada por la ecuación 5:

$$\varepsilon (\%) = \left[1 - \frac{\rho b}{\rho s} \right] \cdot 100 \quad (5)$$

Donde, “ε” es la porosidad de la semilla, “ρb” (g/cm³) es la densidad aparente y “ρs” (g/cm³) es la densidad sólida (Mohsenin, 1986).

Área de superficie

Se utilizó la ecuación 6 para calcular el Área de superficie (McCabe, Smith & Harriot, 1986).

$$Sa (mm^2) = \pi \cdot (Dg)^2 \quad (6)$$

Superficie específica

Se obtuvo mediante la ecuación 7:

$$Ss (cm^2/cm^3) = \frac{Sa \cdot \rho b}{Ml} \quad (7)$$

Donde “Ss” es la superficie específica, “Sa” es el área de superficie, “ρb” es la densidad aparente y “M_l” es unidad de masa de semilla (Sirisomboon, Kitchaiya, Pholpho & Mahuttanyavanitch, 2007).

Densidad aparente

La densidad aparente se obtuvo mediante la ecuación 8:

$$\rho b (kg/m^3) = \frac{Ms}{V} \quad (8)$$

Determinada por la relación de la masa de la muestra “Ms” y su volumen “V”.

Densidad

Se determinó por el método de desplazamiento del agua, que consistió en introducir una semilla en una probeta diferente con 50 mL de agua destilada. La relación entre la masa “Ms” y el volumen “V” dio el valor de la densidad “ρs”, utilizando la ecuación 9 (Singh & Goswami, 1996):

$$\rho s (kg/m^3) = \frac{Ms}{V} \quad (9)$$

Índice de Carr (%)

Se obtuvo con la ecuación 10:

$$\text{Índice de Carr} (\%) = \frac{\rho s - \rho b}{\rho s} \times 100 \quad (10)$$

Índice de Hausner

Se obtuvo con la ecuación 11:

$$\text{Índice de Hausner} (\%) = \frac{\rho s}{\rho b} \times 100 \quad (11)$$

Ángulo de reposo

Para establecer el ángulo de reposo se utilizó un cilindro sin fondo de plástico de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, de manera manual el cilindro se llenó con una muestra de 200 g de semillas; colocándolo sobre distintas superficies planas, se levantó el tubo a una velocidad constante, de manera que el total de las semillas fluyeran formando un montículo; midiendo su altura y el diámetro del montículo, en las superficies (acero, plástico, caucho, lámina galvanizada, madera y cristal), que en general se utilizan como material de transporte en el proceso agroindustrial del producto.

El ángulo de reposo “φ”, se obtuvo al utilizar la siguiente ecuación 12 (Faruk, Ebubekir & Engin, 2005; Garnayak, Pradhan, Naik & Bhatnagar, 2008).

$$\phi = \tan^{-1} \left[\frac{2Hp}{Dp} \right] \quad (12)$$

Donde “Hp” es la altura de la pila (cm), “Dp” es el diámetro de la pila (cm) y “tan⁻¹” es la tangente inversa en relación con la altura y el diámetro.

Hidratación

Para determinar la capacidad de hidratación, se tomó una muestra con un peso de 100 g y un total de 37 semillas, estas

se colocaron en un recipiente con agua destilada de medición dejándolas reposar durante 15-20 h a temperatura ambiente. Una vez drenado y secado el exceso de agua, las semillas hidratadas se separaron y pesaron.

La capacidad de hidratación " H_c " se calculó con la ecuación 13 (Adebowale, Adeyemi & Oshodi, 2005; Akaaimo & Raji, 2006).

$$H_c \text{ (g/semilla o grano)} = \frac{M_a - M_b}{N} \quad (13)$$

Donde " M_a " es el peso después de hidratar la semilla, " M_b " es el peso antes de hidratar la semilla y " N " es el número de muestras.

Índice de hidratación

Se determinó con la ecuación 14:

$$H_i = \frac{H_c}{M_b} \quad (14)$$

Donde el índice de hidratación " H_i " es la relación de hidratación por semilla " H_c " a la del peso de una semilla " M_b " (g agua/g semilla).

Hinchamiento

Para determinar la capacidad de hinchamiento " S_c " de la semilla se utilizó la ecuación 15:

$$S_c \text{ (semilla o grano)} = \frac{V_a - V_b}{N} \quad (15)$$

Donde " V_b ", es el volumen de semilla antes de hidratar; " V_a " el volumen de semillas después de hidratar y " N " número de semillas de la muestra utilizada.

Índice de hinchamiento

Relación de la capacidad de hinchamiento de la semilla a la del volumen. Para determinar el índice de hinchamiento " S_i " se utilizó la ecuación 16:

$$S_i = \frac{S_c}{V_b} \quad (16)$$

Donde " S_c " es la capacidad de hinchamiento y " V_b ", el volumen de la semilla antes de empapar (Adebowale *et al.*, 2005).

Coefficiente de fricción

La determinación de esta propiedad se obtuvo al adaptar una sonda de fricción ASTM D 1894-90 en el equipo universal texturómetro (TA, XTPlus, Stable Micro System UK), y colocar una muestra determinada de semillas dentro de una caja de madera sin fondo, con dimensiones de 100 mm³ y levantándola 5 mm aproximadamente, de manera que solo las semillas tuvieran contacto con la superficie. Una vez instalado este sistema de montaje con la muestra, se ejerció una fuerza horizontal necesaria para desplazar la muestra sobre cada una de las 6 diferentes superficies a medir. La fuerza requerida para el desplazamiento fue registrada por el texturómetro y un total de 15 repeticiones por superficie. Una vez obtenidos los datos se calculó el coeficiente de fricción con la ecuación 17 (Balasubramanian, 2001).

$$\mu = \frac{F}{N_f} \quad (17)$$

Donde el coeficiente de fricción estático " μ " es la relación existente entre la fuerza " F " máxima requerida para mover las semillas y su peso " N_f ".

Fuerza de ruptura

La fuerza de ruptura se determinó con las muestras en una superficie plana, se usó el texturómetro y un plato de compresión de 75 mm, al ejercer la fuerza se rompió la muestra, se realizaron 15 repeticiones con la semilla/nuez sin cáscara y 5 con la semilla con cáscara; los datos quedaron registrados en el equipo (Karaj & Müller, 2010).

Análisis

Se llevó a cabo una comparación de medias agrupadas con un análisis de varianza (ANDEVA) y una comparación con la prueba de Tukey para verificar si las diferencias eran estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$), se usó el programa MINITAB® versión 21.0 (2021).

RESULTADOS

Características físicas de las semillas

En la Tabla I se presentan las características físicas de las semillas de *A. occidentale*. Las dimensiones físicas (media aritmética) correspondieron a la masa (2.15 ± 0.410 g) de un rango de 0.8-3.2 g; incrementándose en un 40 a 45 % al ser hidratadas, la longitud (l), 2.559 ± 2.867 cm (rango 1.051-3.708 cm); el ancho (b), 1.224 ± 0.192 cm (rango 0.741-2.392 cm) y el grosor (t), 1.185 ± 0.182 cm (rango 0.713-1.981 cm). En la Figura 2 se presenta el comparativo de los valores de estas tres características.

Tabla I. Parámetros físicos de la semilla de *A. occidentale*.

Característica Física	Media ± Desviación Estándar
Masa (g)	2.15 ± 0.410
Longitud (cm)	2.559 ± 2.867
Ancho (cm)	1.224 ± 1.921
Grosor (cm)	1.185 ± 1.824
Diámetro Aritmético (cm)	1.656 ± 0.146
Diámetro geométrico (cm)	1.245 ± 0.329
Volumen (cm ³)	0.015 ± 0.004
Forma geométrica (cm)	0.482 ± 0.101
Densidad aparente (g/cm ³)	143.571 ± 35.584
Densidad sólida (g/cm ³)	324.21 ± 0.524
Porosidad (%)	88.150 ± 4.458
Área de superficie (cm ²)	5.211 ± 2.945
Superficie Específica (cm ² /cm ³)	311.275 ± 82.391
Capacidad de Hidratación (g/semilla)	0.035 ± 0.0098
Índice de Hidratación	0.003 ± 0.0066
Capacidad de Hinchamiento (g/semilla)	11.5427 ± 24.598
Índice de Hinchamiento	0.759 ± 1.490
Índice de Carr (%)	6.9 ± 0.911
Índice de Hausner	1.074 ± 0.002

*Se registra la media aritmética del total de las muestras ± desviación estándar. n = 200.

Los resultados muestran que los diámetros, el aritmético y el geométrico, así como, el volumen de las semillas de marañón fueron de 1.656 ± 0.146 cm, 1.245 ± 0.329 cm y 0.15 ± 0.004 cm³ respectivamente. Estos parámetros son cruciales, al proporcionar información sobre su tamaño, la forma y el volumen, además de fundamentales para el diseño de equipos de clasificación y control de calidad, así como para las operaciones de manipulación y procesamiento a granel de las semillas (Eke, Asoegwu & Nwandikom, 2007). Es importante destacar que se observó una variación en sus dimensiones ortogonales al hidratarlas, lo que resultó en un aumento de aproximadamente un 10-15 % de los valores en una muestra de 37 semillas (Tabla II). Este hallazgo resalta la importancia de considerar su estado de hidratación al llevar a cabo mediciones y análisis físicos. En cuanto a su *forma geométrica*, se observó que las más cercanas a 1.0 ruedan con más facilidad alrededor de cualquiera de los ejes, lo que podría aumentar la velocidad en la molienda, igual sería la relación del espesor y el ancho más cercano a 1.0 para una mayor tendencia a girar alrededor del eje principal (Niveditha & Sridhar, 2012a). Respecto a la densidad, los datos mostraron una densidad aparente de 14.357 ± 0.581 g/cm³ y una densidad sólida de 15.421 ± 0.524 g/cm³. Estos valores son importantes para comprender la compactación y el comportamiento de las semillas durante el almacenamiento y su proceso. En resumen, los resultados obtenidos proporcionan una comprensión detallada de sus características físicas para manipularlas.

Por otra parte, en la Figura 3 se observan los resultados del ángulo de reposo de las semillas de *A. occidentale* en distintas superficies; en caucho el valor fue mayor de ($21.752 \pm 3.058^\circ$) seguido de la lámina galvanizada de ($21.673 \pm 2.751^\circ$), el cristal

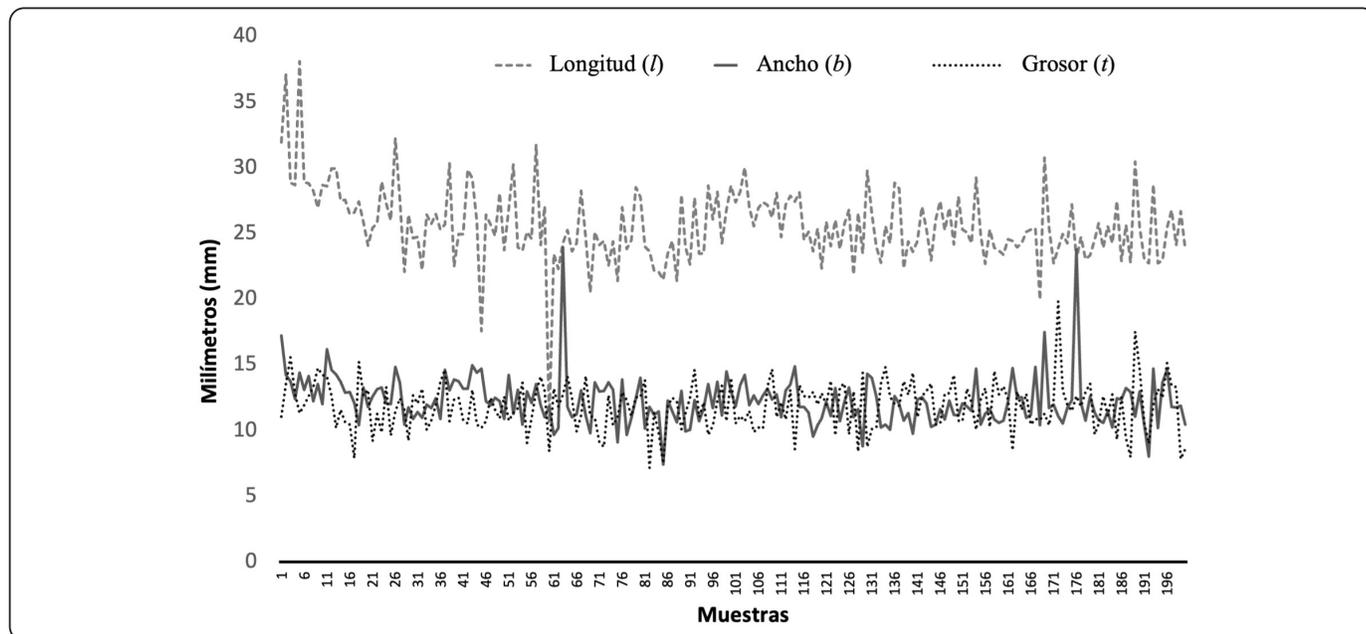


Figura 2. Gráfica con las dimensiones del total de muestras de semillas (nuez) seleccionadas (200 unidades) de *A. occidentale*.

Tabla II. Comparativo de las dimensiones principales antes y después de hidratar las semillas, a una humedad de 45 % y otra a 68 % respectivamente.

Dimensiones Ortogonales(mm)	Antes de Hidratar	Después de Hidratar
Longitud	27.033±0.713 ^a	30.25±0.551 ^b
Ancho	12.95±0.224 ^a	14.57±0.273 ^b
Grosor	11.35±0.929 ^a	13.01±0.852 ^b

*Se registra la media aritmética del total de las muestras ± desviación estándar.

*Letras iguales en la misma línea indican que no hay diferencia significativa ($p > 0.05$).

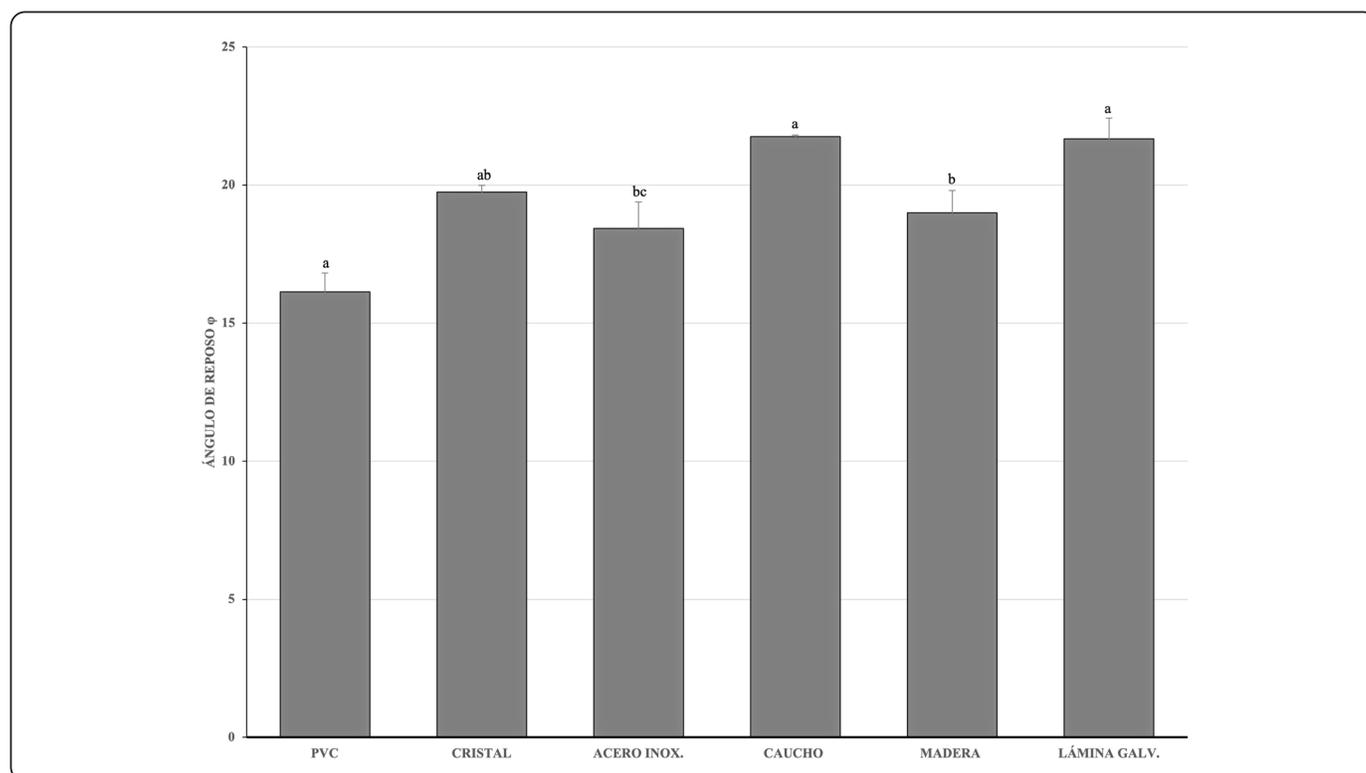


Figura 3. Ángulo de reposo de las semillas (nuez) sin cáscara de *A. occidentale* en diversas superficies.

de ($19.749 \pm 3.235^\circ$), la madera de ($18.988 \pm 2.821^\circ$), el acero inoxidable de ($18.421 \pm 2.9546^\circ$) y el PVC de ($16.132 \pm 4.670^\circ$) respectivamente. El índice de Carr o índice de compresión se relaciona con la resistencia y estabilidad de los enlaces entre las partículas del sólido y el de Hausner con una medida de la fricción entre partículas (Shah, Tawakkul & Khan, 2008). Los resultados del índice de Carr y Hausner fueron de 6.9 ± 0.911 y 1.074 ± 0.002 respectivamente, estos valores permitieron clasificar a las semillas con un tipo de flujo y fluidez “excelente” y “muy bueno” respectivamente (Farmacopea, 2016), ver la Tabla III. Las pruebas realizadas en las semillas con cáscara mostraron valores menores que los obtenidos con la semilla sin cáscara en un rango de 12.51° - 16.51° ; por lo que el caucho y el acero inoxidable presentan mayor y menor ángulo de reposo respectivamente (Figura 4). Los resultados del coeficiente de

fricción se aprecian en la Figura 5, donde se pudo determinar el grado de fricción en cada una de las superficies; con mayor resistencia en el caucho y menor en el cristal, esto se debe a la textura rugosa de la semilla con cáscara. Al igual que en el ángulo de reposo, el coeficiente de fricción estático de las semillas con cáscara, tuvieron una mínima variación incrementándose su valor al observar en las superficies mayor y menor valor de resistencia como se muestra en la Figura 6. El conocimiento de la fuerza de ruptura de una semilla provee información para diseñar equipos para su procesamiento; la fuerza requerida para fracturarlas (Figura 7) fue de 48.44 ± 15.6371 N. De acuerdo con los resultados obtenidos las semillas con cáscara presentaron una mayor resistencia al ser fracturadas, con una fuerza de $354.88 \text{ N} \pm 16.5343$; esto debido a la dureza que las caracteriza (Figura 8).

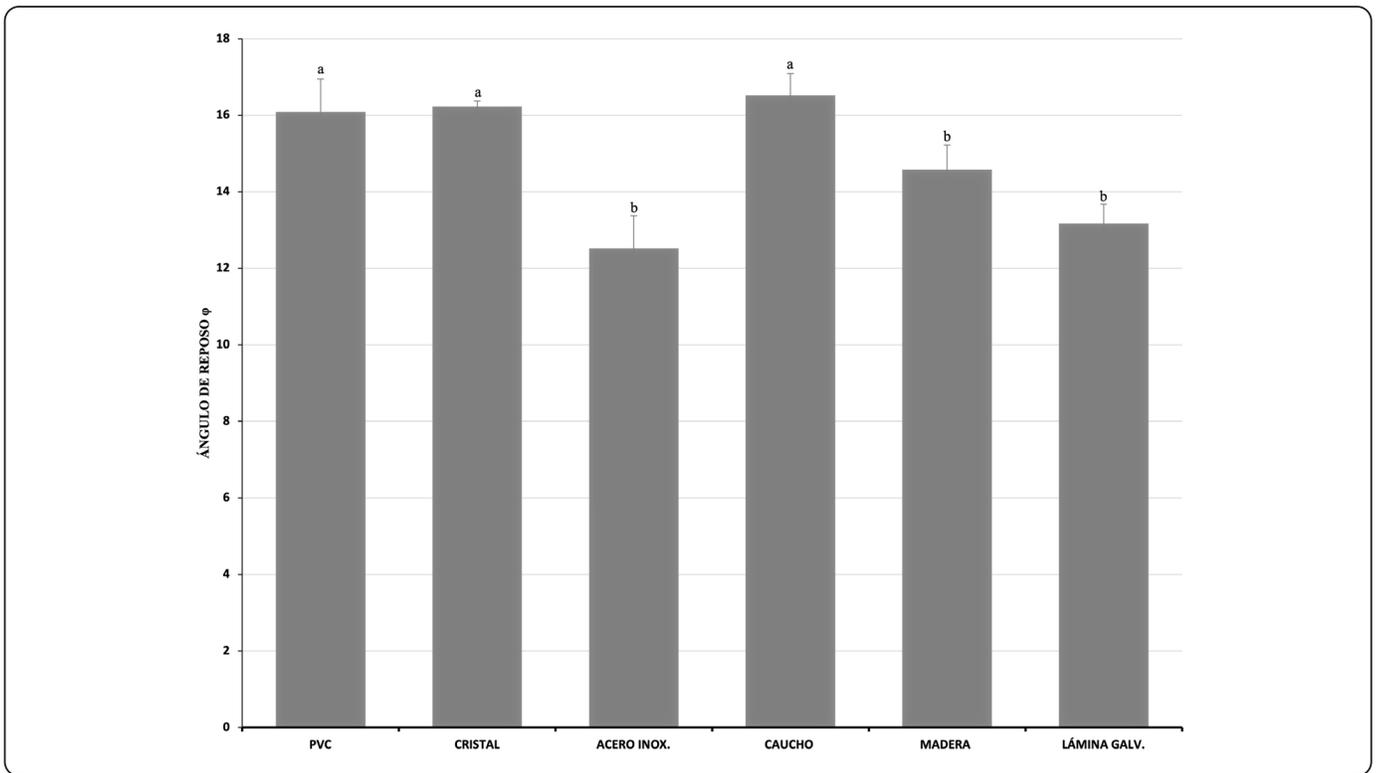


Figura 4. Ángulo de reposo (ϕ) de las semillas (nuez) con cáscara de *A. occidentale* en diversas superficies.

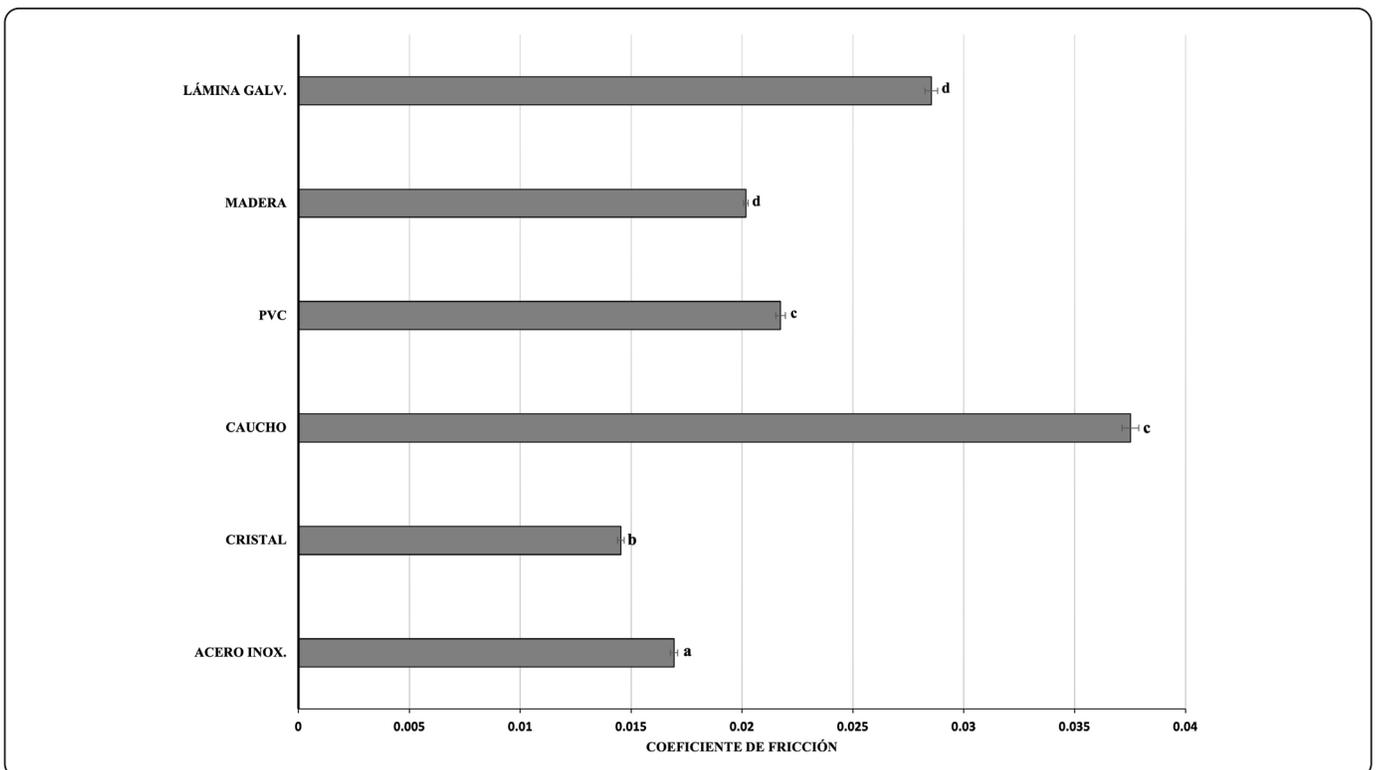


Figura 5. Coeficiente de fricción de las semillas (nuez) sin cáscara de *A. occidentale*.

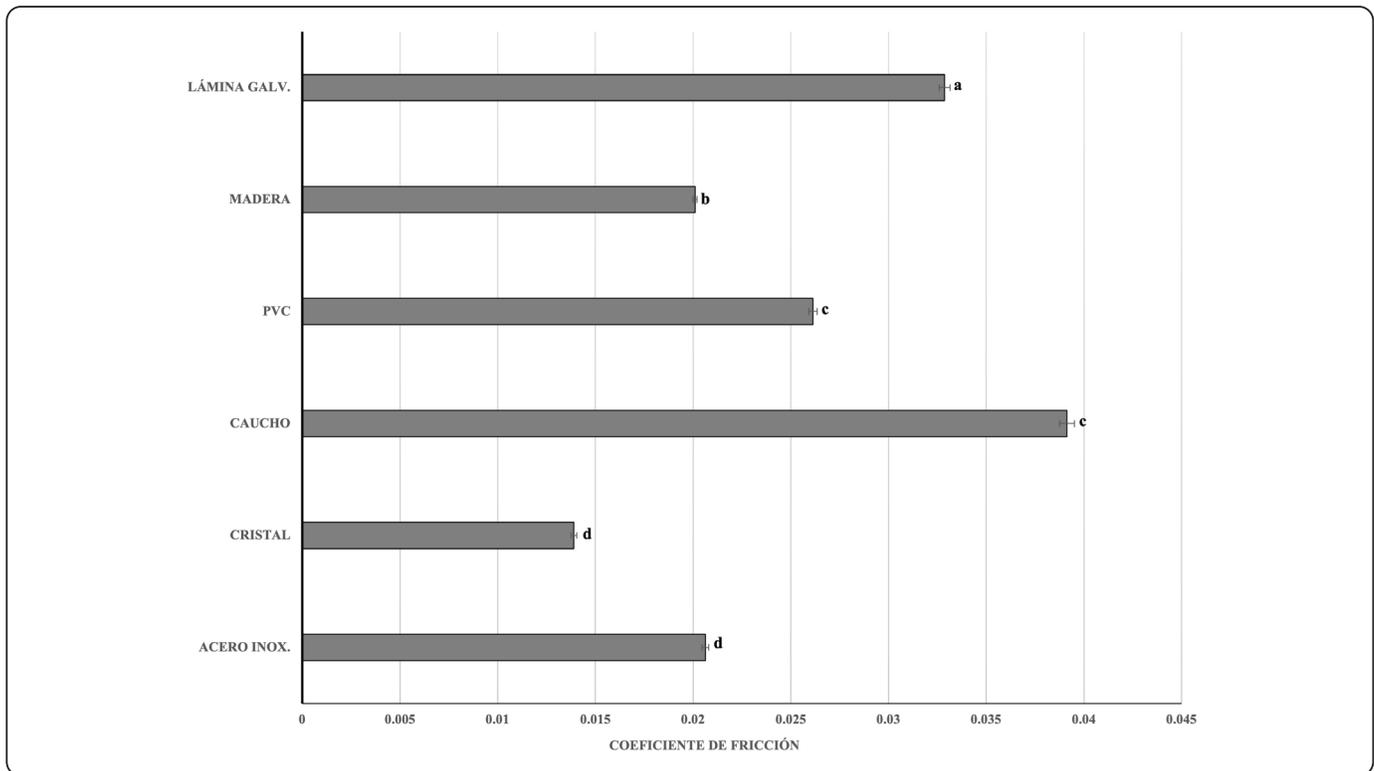


Figura 6. Coeficiente de fricción de las semillas (nuez) con cáscara de *A. occidentale*.

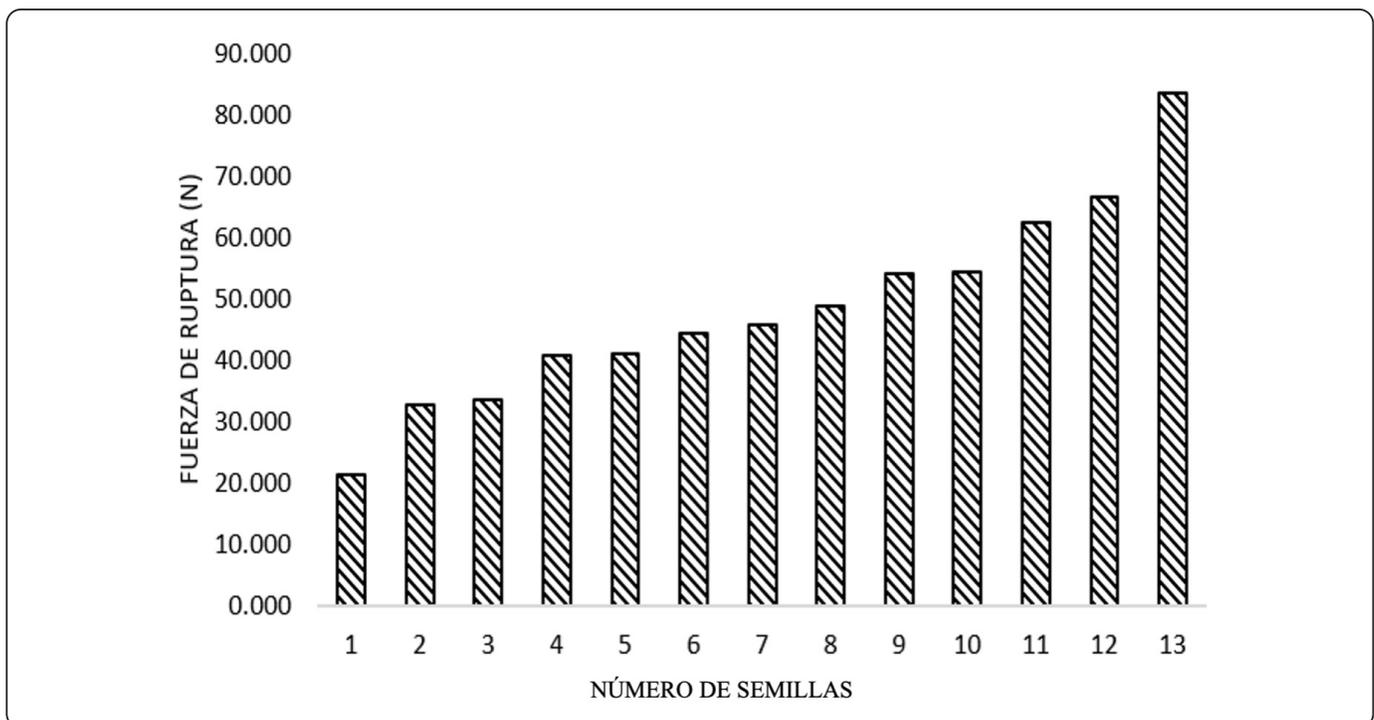


Figura 7. Fuerza de ruptura (N) de las semillas (nuez) sin cáscara de *A. occidentale*.

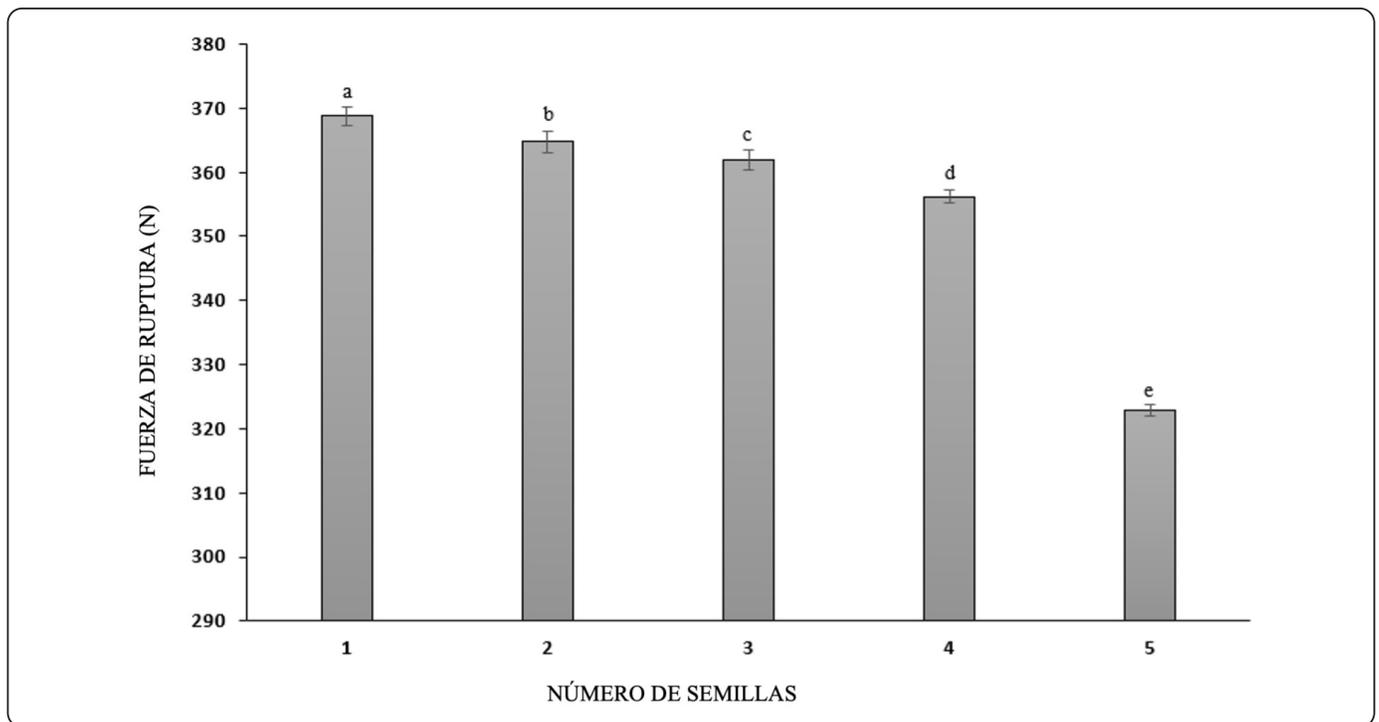


Figura 8. Fuerza de ruptura (N) de las semillas (nuez) con cáscara de *A. occidentale*.

DISCUSIÓN

Los resultados de medir la estructura física de las semillas de *A. occidentale*, son relevantes para realizar los procesos de separación, clasificación y control de calidad posterior al descascarado y previo a la extracción. Su estructura geométrica con características entre una elipse y una esfera. La forma casi de una esfera define su capacidad de rodar durante su procesamiento (Arapa & Padron, 2014); cuyas medidas fueron de 0.482 ± 0.101 cm. Bande, Adam, Azmi & Jamarie (2012) mencionan que un valor de 0.7 a 0.8 es considerado esférico para una semilla. La densidad aparente y sólida brinda información útil para el diseño de máquinas de limpieza y separación de semillas. De igual manera, el área superficial es importante para determinar cómo se proyecta la semilla al moverse en una corriente de aire turbulenta, lo que permite generar datos valiosos para el diseño de equipos transportadores y separadores de semillas Niveditha, Sridhar & Balasubramanian, 2013). La porosidad determina la pérdida de carga que debe vencer el aire en los procesos de secado y aireación. *A. occidentale* demostró un alto grado de capacidad de hidratación e hinchamiento (0.035 ± 0.009 g/semilla y 11.542 ± 24.598 g/semilla) suavidad y alta permeabilidad. Esto se reflejó notoriamente al incrementarse las medidas ortogonales, tomadas después de la hidratación. Estas características ayudan a procesar las semillas en remojo, germinación, esparcimiento y fermentación para la extracción de los principios activos o para eliminar componentes anti nutricionales. También sirve de referencia para el almacenamiento y el transporte de las

semillas (Isik & Unal, 2007; Niveditha, Sridhar & Chatra, 2012b; Rico & Salas-Salvado, 2015). La porosidad mostró un alto porcentaje, información también importante en decisiones de almacenamiento con sistemas de aireación. Es decir, entre mayor sea la porosidad, mejor es la aireación y la difusión del vapor de agua durante el secado profundo del lecho. Por otra parte, se demostró que el caucho obtuvo un valor mayor de ángulo de reposo seguido de la lámina galvanizada, el cristal, la madera, el acero inoxidable y el PVC respectivamente. Esto se debe, a que el caucho contiene excelentes propiedades mecánicas, de carga de rotura, alargamiento, abrasión y desgarró. De acuerdo con Barbosa, Ortega, Juliano & Yan (2005) ellos mencionan que un ángulo de reposo cercano a 35° indica libre fluidez, de 35° a 45° flujo algo cohesivo, de 45° a 55° flujo cohesivo (poca fluidez) y mayores de 55° el flujo es limitado. Por tal motivo, se determina que la semilla tiene una libre fluidez en cualquiera de las superficies probadas, debido a que los ángulos obtenidos están en un rango menor a 35° . El coeficiente de fricción estático es útil para el diseño de sistemas de transporte en los procesos de industrialización. En Rojas (2011), los sistemas de transporte neumático o el sistema de transporte por gravedad, utilizan materiales con coeficientes de fricción bajos y en uno por bandas transportadoras coeficientes de fricción altos, en este último caso los materiales más adecuados serían el caucho y el PVC. Es importante mencionar que esta resistencia a los materiales crece con el contenido de humedad; de acuerdo con investigaciones realizadas en otras semillas por Bart-Plange, Dzisi, Darko &

Winful, 2003; Dursun & Dursun, 2005; Coskuner & Karababa, 2007; Garnayak *et al.* 2008; Mirdavardoosti, Kashaninejad & Soltani, 2009; Putri, Yahya, Adam & Aziz, 2015; determinaron que el coeficiente de fricción estático es mayor en las semillas con contenidos de humedad altos porque el agua presente en ellas ejerce una fuerza de adhesión sobre cada superficie de contacto. Las propiedades mecánicas como fuerza y deformación para lograr la ruptura de la cáscara, brindan información para el diseño de equipos y/o procesos, para separar la cáscara de la semilla, en este caso la fuerza mayor fue de 368.768 N.

CONCLUSIONES

Se evidenció una gran variación en las dimensiones de las semillas de marañón, con longitudes que indican diferencias significativas en el tamaño. Además, se observaron también diferencias notables en el grosor, el ancho y un aumento en la capacidad de hidratación e hinchamiento, lo que afectó varias de sus características, como la masa, los diámetros aritmético y el geométrico, el volumen, la densidad y el área de superficie. Además, se demostró que tienen una fluidez libre, con un ángulo de reposo mayor en el caucho y menor en el PVC. En términos de sus propiedades mecánicas, se observó una mayor resistencia en el caucho en comparación con el cristal, ya que las semillas con cáscara mostraron un incremento mínimo en la resistencia debido a la dureza de la cáscara del anacardo. Se requiere una fuerza de fractura significativamente mayor para abrir las semillas con cáscara debido a su dureza. Por último, este estudio proporciona información complementaria sobre las propiedades físicas y mecánicas de las semillas de marañón, con la finalidad de contribuir al diseño de una nueva maquinaria y equipos de procesos para su transformación.

AGRADECIMIENTOS

Al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento mencionado en la convocatoria: Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica en los Programas Educativos de los Institutos Tecnológicos Federales, Institutos Descentralizados y Centros de Investigación con el Proyecto: “Caracterización física y mecánica del marañón (*A. occidentale*) para su industrialización: manipulación, almacenamiento y transporte”.

REFERENCIAS

Adebowale, Y. A., Adeyemi, A. & Oshodi, A. A. (2005). Variability in the physicochemical, nutritional and antinutritional attributes of six *Mucuna* species. *Food Chemistry*, **89**, 37–48. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.084>

Akaaimo, D. I. & Raji, A. O. (2006). Some physical and engineering properties of *Prosopis africana* seed. *Biosystems Engineering*, **95**, 197–205. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.06.005>

Altuntas, E. & Yildiz, M. (2007). Effect of moisture content on some physical and mechanical properties of faba bean

(*Vicia faba* L.) grains. *Journal of Food Engineering*, **78**, 174–183. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.09.013

Arapa, C. P. & Padrón, P. C. A. (2014). Determinación de características físicas en semillas de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) mediante procesamiento digital de imágenes. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, **5(2)**, 148-165. <https://www.researchgate.net/publication/274428734>

Bahnasawy, A. H. (2007). Some physical and mechanical properties of garlic. *International Journal of Food Engineering*, **3**, 1–18. <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1136>

Balasubramanian, D. (2001). Physical properties of raw cashew nut. *Journal of Agricultural and Engineering Research*, **78**, 291–297. <https://doi.org/10.1006/jaer.2000.0603>

Bande, Y. M., Adam, N. M., Azmi, Y. & Jamarie, O. (2012). A review of methodologies for determination of physical properties of seeds. In *Engineering research methods*. (Chapter 3). Raleigh, North Carolina, USA: Lulu Press, Inc. <https://books.google.com.co/books?id=vFScAwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false.8>

Barbosa G., Ortega, E., Juliano, P. & Yan, H. (2005). Food powders, physical properties, processing and functionality. *Food Engineering Series. Klumer Academic, New York*, **61(2)**, 55-88. <https://citations.springernature.com/book?doi=10.1007/0-387-27613-0>

Bart-Plange, A., Dzisi, K. A., Darko, J. O. & Winful, K. F. (2003). Moisture Effects on Selected Physical Properties of Category B Cocoa Beans. *Journal of Science and Technology*, **23(2)**, 90-95. <http://ir.knust.edu.gh/handle/123456789/5092>

Coskuner, Y. & Karababa, E. (2007). Some physical properties of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of Food Engineering*, **78**, 1067–1073. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.12.017>

Coto, A. O. M. (2003). Guía Técnica: Cultivo del marañón. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. <https://bit.ly/3h9deZq>

Díaz, C. J. C. (2009). Determinación en campo, de niveles de nitrógeno, fósforo y potasio, en el desarrollo del porta injerto e injerto en plantas de marañón (*Anacardium occidentale* L.) Universidad de El Salvador. (Tesis de Pregrado). <http://ri.ues.edu.sv/963/1/13100620.pdf>

Dursun, I. & Dursun, E. (2005). Some Physical Properties of Caper Seed. *Biosystems Engineering*, **92(2)**, 237–245. <https://ucatedraivan.files.wordpress.com/2014/08/some-physical-properties-of-caper-seed.pdf>

Eke, C. N. U., Asoegwu, S. N. & Nwandikom, G. I. (2007). Some Physical Properties of Jackbean Seed (*Canavalia ensiformis*). *Agricultural Engineering International*, **9**, 1-11. <http://www.cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/896/890>

Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos. (2016). Visto el 11 de junio del 2018. <http://www.farmacopea.org.mx/Repositorio/Documentos/258.pdf>

- Faruk, T., Ebubekir, A. & Engin, O. (2005). Physical properties of Hungarian and common vetch seeds. *Journal of Applied Science*, **5**, 323–326. DOI:10.3923/jas.2005.323.326
- Garnayak, D. K., Pradhan, R. C., Naik, S. N. & Bhatnagar, N. (2008). Moisture-dependent physical properties of jatropha seed (*Jatropha curcas* L.). *Industrial Crops and Products*, **27**, 123–129. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.09.001>
- Haciseferogullari, H., Gezer, I., Bahtiyarca, Y. & Menges, H. O. (2003). Determination of some chemical and physical properties of Sakiz faba bean (*Vicia faba* L. var. major). *Journal of Food Engineering*, **60**, 475–479. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00075-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00075-X)
- Isik, E. & Unal, H. (2007). Moisture dependent physical properties of white speckled red kidney bean grains. *Journal of Food Engineering*, **82**, 209–216. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2007.02.012
- Karaj, S. & Müller, J. (2010). Determination of physical, mechanical and chemical properties of seeds and kernels of *Jatropha curca* L. *Industrial Crops and Products*, **32**, 129–138. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.04.001>
- McCabe, W., Smith, J. & Harriot P. (1986). *Unit operations of chemical engineering*. Mexico: Mcgraw-hill. <http://librodigital.sangregorio.edu.ec/librosusgp/14698.pdf>
- Mirdavardoosti, F., Kashaninejad, M. & Soltani, A. (2009). Moisture-dependent physical properties of chickpea seeds. *Journal of Food Process Engineering*, **32**, 544–564. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2007.00231.x>
- Mohsenin N. N. (1986). *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
- Niveditha, V. R. & Sridhar, K. R. (2012a). Concanavalin and canavanine in seeds of coastal sand dune legumes (*Canavalia*). *Advanced Biotech*, **11**, 30–34. <https://www.veterinaria.uady.mx/publicaciones/journal/canavalia-40.pdf>
- Niveditha, V. R., Sridhar, K. R. & Chatra, S. K. R. (2012b). Fatty acid composition of cooked and fermented beans of the wild legumes (*Canavalia*) of coastal sand dunes. *International Food Research Journal*, **19**, 1401–1407. [http://www.ifrj.upm.edu.my/19%20\(04\)%202012/15%20IFRJ%2019%20\(04\)%202012%20Sridhar%20\(080\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/19%20(04)%202012/15%20IFRJ%2019%20(04)%202012%20Sridhar%20(080).pdf)
- Niveditha, V. R., Sridhar, K. R. & Balasubramanian, D. (2013). Physical and mechanical properties of seeds and kernels of *Canavalia* of coastal sand dunes. *International Food Research Journal*, **20**, 1547–1554. [http://www.ifrj.upm.edu.my/20%20\(04\)%202013/5%20IFRJ%2020%20\(04\)%202013%20Sridhar%20\(086\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/20%20(04)%202013/5%20IFRJ%2020%20(04)%202013%20Sridhar%20(086).pdf)
- Niveditha, V. R. & Sridhar, K. R. (2014). Antioxidant activity of raw, cooked and *Rhizopus oligosporus* fermented beans of *Canavalia* of coastal sand dunes of Southwest India. *Journal of Food Science and Technology*, **51(11)**, 3253–3260. DOI: 10.1007/s13197-012-0830-9
- Putri, R. E., Yahya, A., Adam, N. M. & Aziz, S. A. (2015). Correlation of Moisture Content to Selected Mechanical Properties of Rice Grain Sample. *International Journal Advanced Science Engineering Information Technology*, **5(5)**, 264–267. http://insightsociety.org/ojaseit/index.php/ijaseit/article/viewFile/561/pdf_44
- Rico, R., Bulló, M. & Salas-Salvadó, J. (2015). Nutritional composition of raw fresh cashew (*Anacardium occidentale* L.) kernels from different origin. *Food Science and Nutrition*, **4**, 329–338. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4779481/>
- Rojas, B. Á. & Aristizábal, T. I. (2011). Efecto del Contenido de Humedad sobre Propiedades Físicas de la Semilla de Vitabosa (*Mucuna deeringiana*). *Facultad Nacional de Agronomía*, **64**, 5961–5971. <http://www.redalyc.org/pdf/1799/179922364019.pdf>
- Shah, R. B., Tawakkul, M. A. & Khan, M. A. (2008). Comparative Evaluation of Flow Pharmaceutical Powders and Granules. *American Association of Pharmaceutical Scientists*, **9(1)**, 250–258.
- Singh, K. K. & Goswami, T. K. (1996). Physical properties of cumin seed. *Journal of Agricultural Engineering Research*, **64**, 93–98. <https://doi.org/10.1006/jaer.1996.0049>
- Sirisomboon, P., Kitchaiya, P., Pholpho, T. & Mahuttanyavanitch, W. (2007). Physical and mechanical properties of *Jatropha curcas* L. fruits, nuts and kernels. *Biosystems Engineering*, **97**, 201–207. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.02.011>
- Taser, O. F., Altuntas, E. & Ozgoz, E. (2005). Physical properties of Hungarian and common vetch seeds. *Journal of Applied Science*, **5**, 323–326. DOI: 10.3923/jas.2005.323.32