

Propiedades físico-mecánicas de los granos y vainas de gandul para el diseño de una desgranadora

Physical-Mechanical Properties of Pigeon Beans and Pods for the Design of a Sheller Machine



<http://opn.to/a/hYS9y>

Jeny Pérez-Petitón^{I*}, Segress Garcia-Hevia^{II}, Ernesto Ramos-Carbajal^{III}, Geisy Hernández-Cuello^I, Leidy Burón-Mederos^I

^IUniversidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{II}Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Agrarias, Guayaquil, Ecuador.

^{III}Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), Escuela de Estudios Agropecuarios Mezcalapas, Chiapas, México.

RESUMEN: El estudio de las propiedades físico-mecánicas es importante para mejorar eficientemente el diseño y construcción de equipos y estructuras, para el manejo, recolección, transporte, limpieza, clasificación, y procesamiento agroindustrial, así como su utilización como datos de entrada al modelo teórico que fundamenta los parámetros de diseño y de operación de la máquina desgranadora. El trabajo se realizó en el Centro de Mecanización Agropecuaria de la Facultad Ciencias Técnicas, Universidad Agraria de la Habana, el cual tuvo como objetivo determinar las propiedades físico-mecánicas de los granos y vainas de gandul verde de la variedad Gwailor-3, para su utilización como parámetros de diseño y operación de una máquina para el desgranado de gandul verde. Obteniéndose un ancho de las vainas que oscila entre 12,5 y 15,8 mm, mientras que el largo se encuentra entre 46,8 y 78,9 mm. Los valores medios de ángulos de fricción de los granos sobre superficie de goma, madera y acero son de 43,6°; 21,07° y 20,13° respectivamente y para las vainas ángulos de 34,9°; 35,38° y 25, 95°.

Palabras clave: *Cajanus cajan*, ángulo de fricción.

ABSTRACT: The study of the physical-mechanical properties is important for the design and construction of equipment and structures, for the management, collection, transportation, cleaning, classification, and agro industrial processing, as well as the input data to the theoretical model that bases the parameters of design and operation of the sheller machine. The work was carried out in the Agricultural Mechanization Center of the Faculty of Technical Sciences, Agrarian University of Havana, which had as objective to determine the physical-mechanical properties of the grains and green Gandul pods of the variety Gwailor-3, for its use of parameters of design and operation of a machine for the husking of green pigeon peas. Obtaining a width of the pods that oscillates between 12.5 and 15.8 mm, while the length is between 46.8 and 78.9 mm. The average friction values of the grains on rubber, wood and steel surfaces are 43.6°; 21.07° and 20.13° respectively and for the pods angles of 34.9°; 35.38° and 25, 95°.

Keywords: *Cajanus cajan*, friction angle.

*Autor para correspondencia: Jeny Pérez Petitón. e-mail: jpetiton@unah.edu.cu

Recibido: 25/01/2018

Aceptado: 11/09/2018

INTRODUCCIÓN

El gandul [*Cajanus cajan* (L.) Mill sp.], es originario de la India y más tarde se desarrolló en África. Es uno de los principales cultivos de legumbres de los trópicos y sub-trópicos, cultivándose en aproximadamente 50 países de Asia, África y América, principalmente intercalado con cereales. Su tolerancia a la sequía y la habilidad de usar humedad residual durante la estación seca lo hacen un cultivo importante ([Sheldrake, 1984](#); [Sandoval et al., 1991](#); [Robledo, 2010](#)).

La producción de gandul ocupa el sexto lugar en comparación con otras leguminosas de grano, tales como frijoles, guisantes y garbanzos. La India es el mayor productor con 3,4 millones de ha, seguido por Myanmar (580 000 ha), China (60 000 ha) y Nepal (28 000 ha). Alrededor del 95% de la producción proviene del sur de Asia, donde el 90% pertenece a la India, ([Neme y Sheila, 1990](#); [PASOLAC \(Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de El Salvador\), 2000](#); [Robledo, 2010](#); [Duke, 2012](#)). [PASOLAC \(Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de El Salvador\) \(2000\)](#), menciona que el gandul se adapta bien a altitudes bajas y medias que van desde los 0-1500 metros sobre el nivel del mar; las temperaturas óptimas van desde los 18-35°C y las precipitaciones desde 700-2500 milímetros anuales. Según [Abrams y Julia \(1973\)](#), la producción de gandul varía según la tecnología que se utilice, siendo afectada principalmente por el tipo de suelo y reporta rendimientos de granos entre 568,18 y 1362 kg/ha, dependiendo de la poda de la planta a una altura entre 0,8 y 10 metros, lo que aumenta el número de vainas y la producción de granos. Investigaciones realizadas por ([CIAT \(Centro internacional de Agricultura Tropical\), \(1983\)](#)), mostraron que una hectárea de gandul puede llegar a producir como promedio de 4 a 5 toneladas de granos verdes, 1 tonelada de grano seco y de 10 a 14 toneladas de forraje verde. [Riollano et al. \(1962\)](#), reportó que en Puerto Rico, se cosechó 7,5 t/ha de vainas verdes al emplear una densidad de 8 100 plantas por hectárea, sembradas en abril.

Según [Gane \(1972\)](#), la mecanización de los procesos para lograr una mayor eficiencia en la

obtención de los granos verdes durante el desgranado de frijol, arveja y gandul, datan desde finales del siglo XVIII cuando se realizaron un sinnúmero de equipos. El primer paso revolucionario ocurrió en 1885 cuando Madame Faure presentó, en la exhibición de París, su máquina desgranadora manual de arvejas, cuyos principios han sido incorporados en todas las cosechadoras exitosas actuales. Así mismo, [Scott, \(1888\)](#), desarrolló un diseño, que utilizó mecanismo de transmisión de potencia, para que el accionamiento de una palanca generara las rotaciones necesarias para que varias cuchillas hicieran el proceso de corte y separación de la vaina y así lograr la separación de granos y vainas.

El estudio de las propiedades físico-mecánicas de los granos aporta conocimiento científico; esencial para mejorar eficientemente el diseño y construcción de equipos y estructuras para el manejo, recolección, transporte, limpieza, clasificación, y procesamiento agroindustrial. Sin embargo, según [Villamizar et al. \(2004\)](#), es poco el conocimiento de las características físicas y mecánicas de muchos productos de origen vegetal. Estas propiedades constituyen información básica de ingeniería, esencial para el diseño y optimización de maquinarias, equipos, estructuras y procesos. El desconocimiento de estas propiedades lleva a procesos agroindustriales poco eficientes, donde el diseño y construcción de equipos, estructuras y procesos agroindustriales se basan en el conocimiento empírico y también, en la mayoría de los casos, se utiliza maquinaria importada agregando mayores costos de inversión. [Castro, \(1996\)](#) y [Ospina y Julio \(2001\)](#), plantean que el conocimiento de las propiedades físicas de los granos y semillas, constituyen una información fundamental de ingeniería para adecuar y operar máquinas, diseñar y construir estructuras de almacenamiento, montar sistemas adecuados de transporte; además, es un parámetro fundamental para el diseño de empaques, en el análisis de calidad y en el control de procesos. Por lo que este trabajo tiene como objetivo determinar las propiedades físico -mecánicas de los granos y vainas de gandul verde de la variedad Gwailor-3, para su utilización como parámetros de diseño y

operación de una máquina para el desgranado de gandul verde.

MÉTODOS

Las muestras de gandul se tomaron de la finca “Guayabal”, perteneciente al Intituto de Ciencias Animal (ICA) ubicado en el municipio San José de las Lajas, Provincia Mayabeque (Figura 1).

Para la toma de muestras se seleccionó la variedad de Gandul (*Cajanus Cajan*) Gwailor-3 en plena madurez de cosecha y el muestreo se realizó al azar.

El tamaño de la muestra se determinó a partir de un pre-experimento de Luyarati, (1997), a través de la siguiente expresión:

$$N_m = (t_s^2 / \Delta a^2) * \sigma^2$$

donde:

σ - desviación típica o estándar;

t_s - coeficiente que depende del nivel de confianza y del número de muestras, se determina para una distribución de t de student;

Δa - error máximo permisible de la media.

La media aritmética se determina como:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n_m}$$

Entre estas propiedades se encuentran las características dimensionales de los granos y vainas, así como su masa y los coeficientes de

fricción con relación a superficies de diferente material. Una vez seleccionada la muestra se determinaron las características dimensionales de las vainas y granos, mediante el uso de un pie de rey de 0-150 mm, marca SIMCT., con una precisión de 0,02 milímetros.

Las dimensiones que se midieron en las vainas fueron: la longitud de la vaina (A), del pedúnculo (C) y de la punta (B), el ancho de cada vaina (D) y el espesor de la vaina (E), (Figura 2).

En el caso de los granos se determinaron las dimensiones principales, longitud (L) (Dimensión mayor), ancho (A) (dimensión media) y espesor (E) (dimensión menor), a una muestra de 40 granos (Figura 3).

El diámetro medio geométrico (Dg) y aritmético (Da) se determinó según Mohsenin (1986).

$$D_a = (L + A + E) / 3, \text{ mm}$$

$$D_g = (L * A * E)^{1/3}, \text{ mm}$$

donde:

L - longitud, mm;

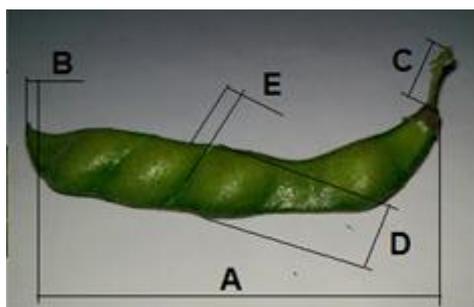
A - ancho, mm;

E - espesor, mm

Para la determinación de la masa se utilizó una balanza marca College, de precisión 0,01 gramos (Figura 4).



FIGURA 1. Finca Guayabal, zona de muestreo.



A: longitud de la vaina, mm;
 B: longitud de la punta, mm;
 C: longitud del pedúnculo, mm;
 D: ancho de la vaina, mm;
 E: espesor de la vaina, mm.



FIGURA 2. Dimensiones de la vaina de gandul verde.



FIGURA 3. Dimensiones de los granos de gandul verde.

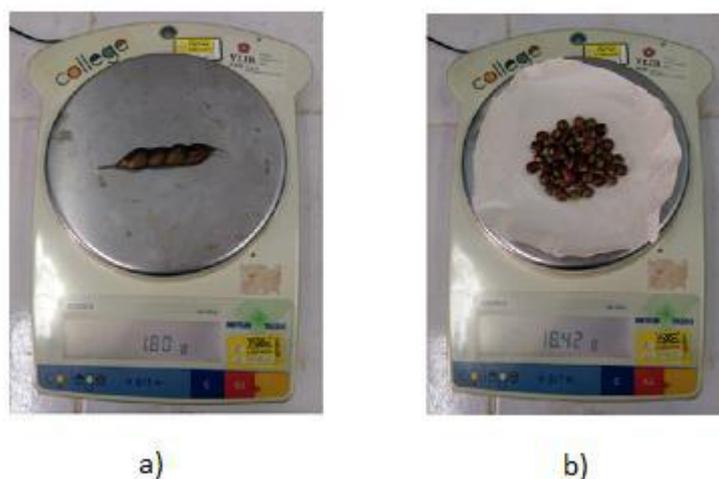


FIGURA 4. Pesaje de muestras, a) vainas, b) granos.

La masa de las vainas se determinó individualmente y en el caso de los granos se siguió la metodología expuesta por [Vilche et al. \(2003\)](#), pesándose 5 sub-muestras de 100 semillas cada una y se extrapolándose el resultado para 1 000 granos.

Para la determinación del ángulo de fricción se utilizó un plano inclinado en el que se colocaron por separado tres superficies: acero, madera y goma, completamente limpias ([Figura 5](#)).

El ángulo de fricción entre el material de las vainas de gandul y las superficies anteriormente descritas se determinó después de colocar la vaina sobre las superficies y mover la rampa desde la posición horizontal (0°) hasta obtener el ángulo en que comienza la vaina a deslizarse. Este ángulo fue medido con el semicírculo graduado con precisión hasta 1° que se encuentra en el plano inclinado.

En el caso de los granos, el ángulo de fricción, se determinó aplicando el mismo procedimiento que para las vainas, con la diferencia de que los granos fueron unidos en grupos de tres con cinta adhesiva para evitar la rodadura ([Figura 6](#))

En ambos casos para el cálculo del coeficiente de fricción estático (C_d) se utilizó la siguiente expresión.

$$C_d = \tan(\varnothing)$$

donde:

\varnothing - ángulo de fricción, ($^\circ$).

Para el procesamiento estadístico matemático de los datos se emplearon los programas: Statgraphics plus, versión 5.1 (en español) y Excel 2010. Se realizó un análisis descriptivo de los datos experimentales, determinando la Media Aritmética (\bar{X}), la Desviación Típica de la media (σ), el Error de la media (Δr) y el Coeficiente de Variación (C.V).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado de los pre-experimentos se obtuvo que el número de muestras necesario para la realización del experimento debe ser mayor de 38. Tomándose 40 granos y 40 vainas para la realización de los experimento, con el objetivo de garantizar mayor precisión en los resultados finales.

En la [Tabla 1](#), se aprecian los resultados del análisis descriptivo realizado a las dimensiones de granos y vainas.

En la tabla anterior se observa que el ancho de las vainas oscila entre 12,5 y 15,8 mm, el largo se encuentra entre 46,8 y 78,9 mm. Resultados similares fueron obtenidos por [Sheahan \(2012\)](#), que obtuvo longitudes de la vaina entre 50,0 y 90,0 mm y anchos de alrededor de 12,0 mm para este cultivo.

Mientras que para los granos el largo, ancho, espesor, de los granos varía entre 8,5 y 11,7 mm; 9,0 y 10,8 mm y 5,5 y 7,1 mm, respectivamente.

El diámetro medio geométrico de 9,06 y el aritmético de 8,63 mm, según las tres dimensiones características de los granos. La longitud, el ancho, el grosor y el diámetro geométrico de las semillas de guandúl en la India según [Khan et al. \(2017\)](#), variaron de 4,9 a 6,9 mm, de 4,52 a 5.40 mm, de 4,10 a 4,70 mm y de 4,95 a 5,45 mm, respectivamente. Resultados muy similares obtuvieron [Sobukola y Onwuka \(2011\)](#), en el cultivo del algarrobo en la semilla donde la longitud, el ancho, el grosor y el diámetro medio geométrico oscilaron entre 10,00 a 11,72 mm; 7,80 a 9,22 mm; 4,00 a 4,85 mm; y



FIGURA 5. Determinación del ángulo de fricción para vainas en el plano inclinado.

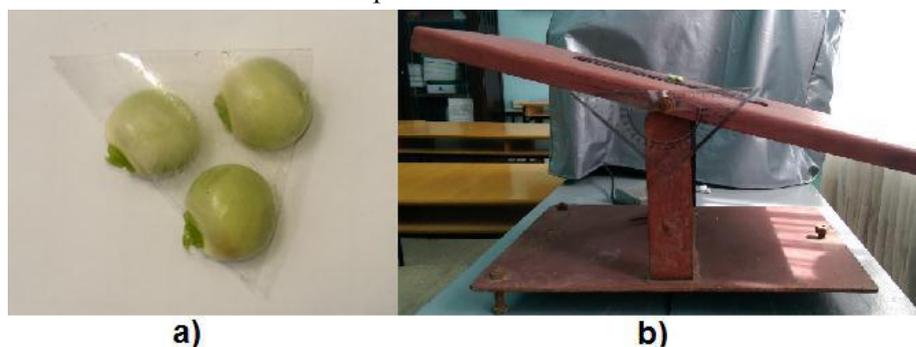


FIGURA 6. Determinación del ángulo de fricción de los granos, a) granos unidos con cinta adhesiva, b) plano inclinado.

TABLA 1. Análisis descriptivo a partir de dimensiones de granos y vainas

| | Granos | | | Vainas | | |
|----------------------|--------|-------|---------|--------|-------|---------|
| | Ancho | Largo | Espesor | Ancho | Largo | Espesor |
| Media(mm) | 9,99 | 10,08 | 6,40 | 13,90 | 63,42 | 3,97 |
| Desv. Std. | 0,48 | 0,74 | 0,43 | 0,67 | 7,37 | 0,75 |
| Error de la media, % | 0,50 | 0,50 | 0,32 | 0,70 | 3,17 | 0,20 |
| Mínimo | 9,0 | 8,5 | 5,5 | 12,5 | 46,8 | 2,2 |
| Máximo | 10,8 | 11,7 | 7,1 | 15,8 | 78,9 | 6,0 |
| Rango | 1,8 | 3,2 | 1,6 | 3,3 | 32,1 | 3,8 |

6,78 a 8,06 mm, respectivamente. Al igual que [Shirmeshan \(2011\)](#) en granos donde el diámetro medio geométrico varió de 3,2 a 8,4 mm, respectivamente.

Lo anteriormente expuesto evidencia la calidad comercial del grano de gandul verde la variedad Gwailor-3.

En los histogramas de frecuencia obtenidos ([Figura 6](#)), se aprecia una distribución cercana a la normal de los comportamientos de los valores de cada variable para el caso de los granos.

En el caso de las vainas, en términos prácticos, se observan diferencias significativas durante la comparación mutua de las tres magnitudes.

Los menores valores de error de la media se aprecian en la característica del espesor, donde alcanza 0,20 mientras que los valores máximos se encuentran en la característica del largo, con un valor de 3,17 ([Tabla 1](#)).

Según los histogramas de frecuencia obtenidos ([Figura 7](#)), se aprecia una distribución cercana a la normal de los comportamientos de los valores de cada variable.

Los resultados obtenidos durante la evaluación de la posibilidad de separación de los granos y vainas se muestran en la [tabla 2](#).

Como el p-valor es menor que 0,05, existen diferencias estadísticamente significativas

durante la comparación mutua de los espesores de granos y vainas, para un nivel de confianza del 95%. Estos resultados asumen que las poblaciones de las cuales provienen las muestras pueden ser representadas por distribuciones normales.

Lo anterior se puede observar al analizar la frecuencia de distribución de dichas dimensiones y el gráfico de cajas y bigotes ([Figura 8](#)), observándose la existencia de diferencias significativas entre las dimensiones comparadas de granos y vainas.

En la [Figura 9](#), se muestra el análisis de las curvas variacionales de distribución de las dimensiones de granos y vainas. En ella se exhibe la existencia de un pequeño solapamiento entre el espesor de las vainas y los granos, lo que demuestra que es posible la separación de estos dos componentes, aunque no total, ya que una pequeña parte de los granos pasarán a través de los rodillos mezclados con las vainas. Este resultado no afecta la calidad del proceso teniendo en cuenta que los granos más pequeños no cumplen las condiciones dimensionales requeridas en el producto final.

Los resultados del análisis descriptivo para la masa de los granos y las vainas se muestran en la [tabla 3](#).

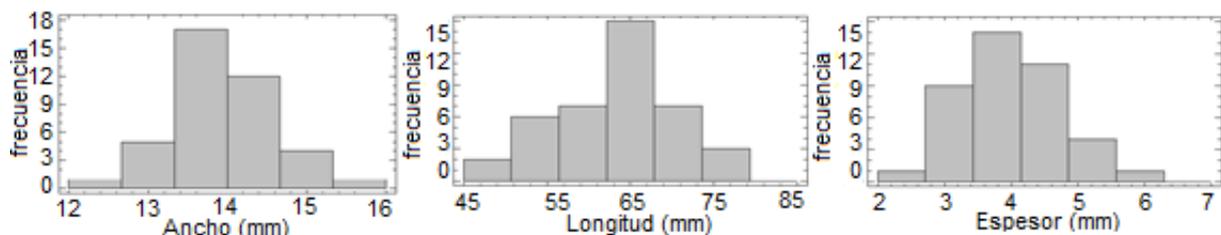
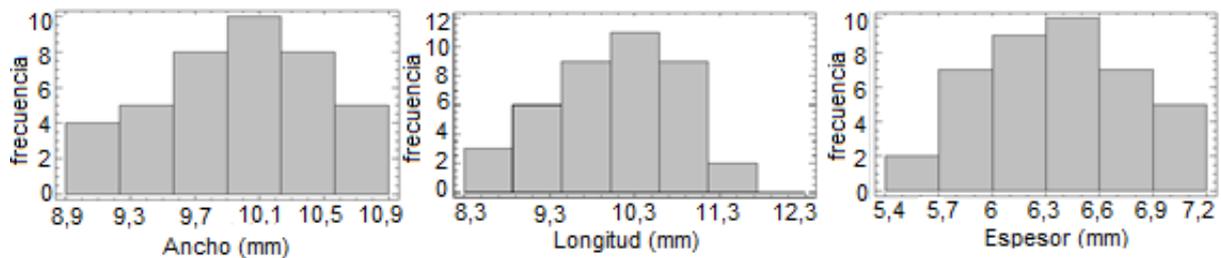


FIGURA 7. Histogramas de frecuencias para el ancho, largo y espesor de las vainas.

TABLA 2. Comparación de los espesores de los granos y las vainas

| | p-valor | Intervalo de confianza | Sesgo estandarizado | Curtosis estandarizada |
|-----------------------|---------|------------------------|---------------------|------------------------|
| Espesor de los granos | 0,004 | 95% | -0,407 | -1,157 |
| Espesor de las vainas | 0,004 | 95% | 0,4810 | 0,537 |

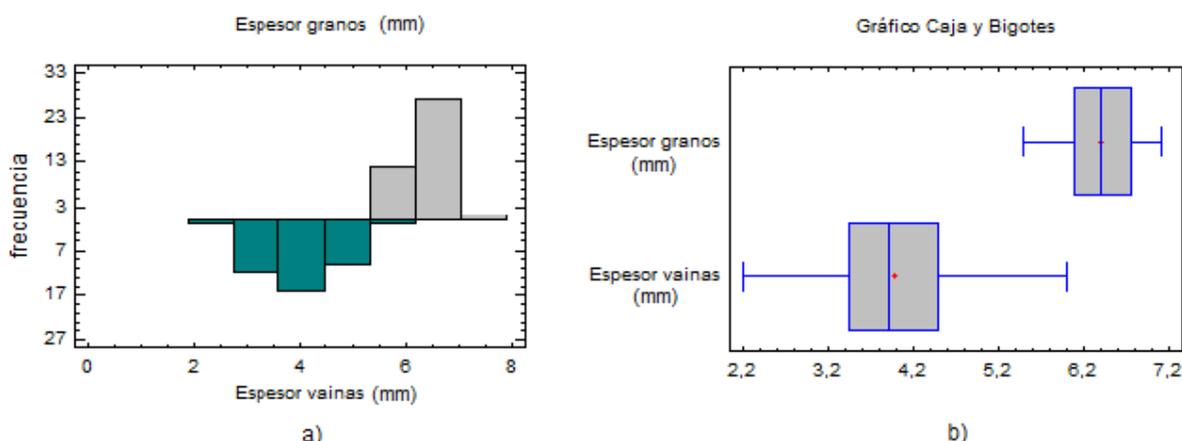


FIGURA 8. a) Comparación entre espesores de granos y vainas, b) gráfico de cajas y bigotes.

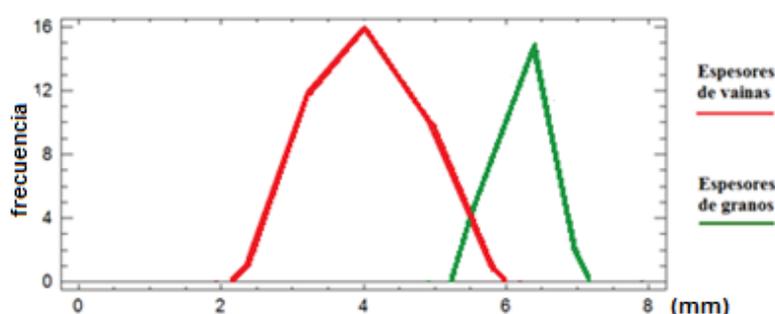


FIGURA 9. Curvas variacionales de distribución del espesor de vainas y granos.

TABLA 3. Análisis descriptivo de los datos de las mediciones de la masa de los granos y las vainas

| | Masa de 1000 granos | Masa de las vainas |
|----------------------|---------------------|--------------------|
| Media (g) | 358,8 | 2,70 |
| Desv. std | 0,17 | 0,38 |
| Error de la media, % | 3,58 | 0,27 |
| Mínimo | 358,6 | 2,13 |
| Máximo | 359,0 | 3,37 |
| Rango | 0,04 | 1,24 |

Como se muestra en la [Tabla 3](#), existen diferencias significativas durante la comparación mutua de las masas. Los valores menores de error de la media se observan en el caso de las vainas, donde alcanza un valor de 0,27, mientras que los valores máximos se encuentran en los granos, con un valor de 3,58.

En el histograma de frecuencia ([Figura 10](#)), se observa una distribución cercana a la normal de los comportamientos de los valores para la masa de las vainas.

Los resultados de la determinación del ángulo de fricción de vainas y granos sobre madera, goma y acero se muestran en la [Tabla 4](#).

En la [Tabla 4](#) se puede apreciar que en el caso de los granos la media menor para el ángulo de fricción se obtuvo en la superficie acero 20,13°, mientras que la mayor está dado para la superficie de goma 43,6°. Resultados similares obtuvo [Shirneshan \(2011\)](#), para granos donde los valores medios mostraron que el coeficiente estático más bajo 0.32 ocurrió con acero superficie galvanizada y los más altos de 0,40 y 0,44 para la goma y lona, respectivamente.

A su vez los histogramas de frecuencia ([Figura 11](#)), muestran una distribución normal de los comportamientos de los valores de cada

variable durante el análisis de los ángulos de fricción entre los granos y las diferentes superficies.

Algo similar ocurre para el caso del ángulo de fricción de las vainas, donde los resultados muestran que la media menor para el ángulo de fricción se obtiene en la superficie de acero, con 25,95°, sin embargo en este caso los mayores valores de ángulo de fricción están dados para la superficie de madera con 35,38°, aunque muy similar al de la goma con 34,90° (Tabla 4).

Lo que significa que el material más conveniente a utilizar es la goma para cubrir las

superficies de contacto lo que permitirá realizar la alimentación a los rodillos desgranadores de forma progresiva evitando así el atasco de los mismos.

De igual forma al poseer el grano (43,60°) un ángulo de fricción mayor que la vaina (34,90°), podemos aconsejar que la zaranda separadora de ambos esté revestida de goma.

Al analizar los histogramas de frecuencia (Figura 12), se observa una distribución cercana a la normal de los comportamientos de los valores de cada variable.

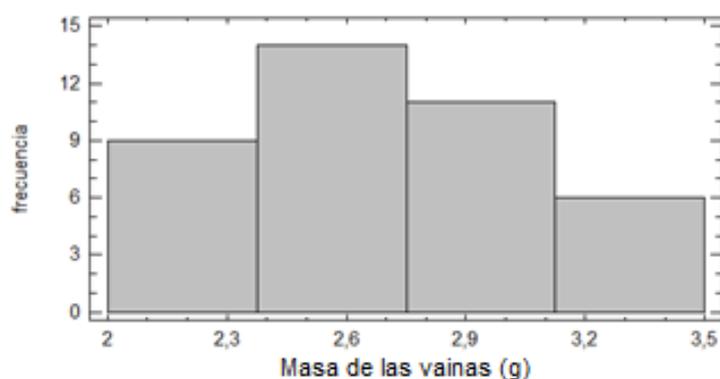


FIGURA 10. Histograma de frecuencia para masa de vainas.

TABLA 4. Estadígrafos determinados para el ángulo de fricción

| | Ángulo de fricción (°) | | | | | |
|-----------------------|------------------------|--------|-------|--------|--------|-------|
| | Granos | | | Vainas | | |
| | Goma | Madera | Acero | Goma | Madera | Acero |
| Media (°) | 43,60 | 21,07 | 20,13 | 34,90 | 35,38 | 25,95 |
| Desvstd | 3,00 | 1,28 | 1,13 | 2,58 | 4,00 | 4,45 |
| Error de la media (%) | 4,36 | 2,11 | 2,01 | 1,75 | 1,77 | 1,30 |
| Mínimo | 39,0 | 19,0 | 18,0 | 28,0 | 28,0 | 18,0 |
| Máximo | 50,0 | 23,0 | 22,0 | 41,0 | 44,0 | 36,0 |
| Rango | 11,0 | 4,0 | 4,0 | 13,0 | 16,0 | 18,0 |

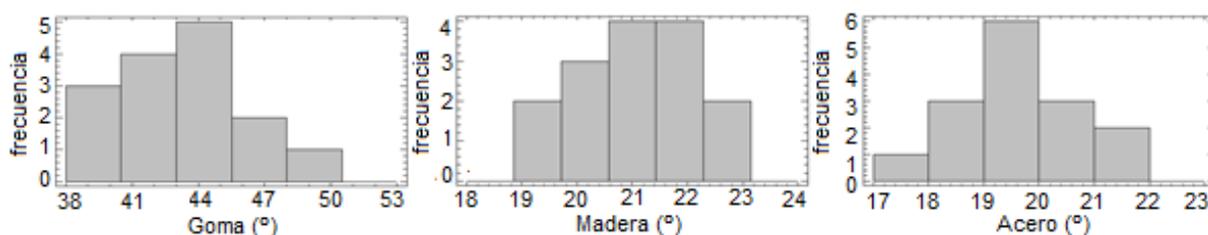


FIGURA 11. Histogramas de ángulos de fricción para granos en superficies de goma, madera y acero.

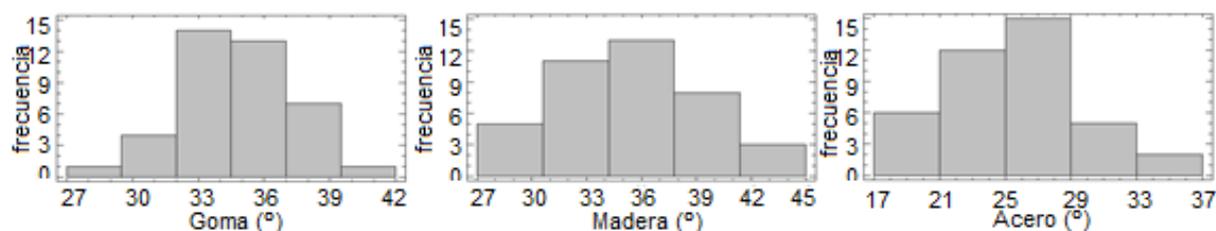


FIGURA 12. Histogramas de ángulos de fricción para vainas en superficies de goma, madera y acero.

CONCLUSIONES

- En los granos de gandul verde variedad Gwailor-3 el largo, ancho, espesor, de los mismos varía entre 8,5 y 11,7 mm; 9,0 y 10,8 mm y 5,5 y 7,1 mm, respectivamente. El diámetro medio geométrico de 9,06 y el aritmético de 8,63 mm, garantizando su calidad comercial.
- El ángulo de fricción medio de los granos sobre superficie de goma, madera y acero es de 43,6°; 21,07° y 20,13° respectivamente y para vainas de 34,9°; 35,38° y 25,95°, lo que significa que el material más conveniente a utilizar es la goma para cubrir las superficies de contacto lo que permitirá realizar la alimentación a los rodillos desgranadores de forma progresiva evitando así el atasco de los mismos, así como la separación de las vainas y granos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMS, R.; JULIA, E.J.: "Effect of planting time, plan population and row spacing on yields and other characteristics of pigeon pea (*Cajanus Cajan. Millsp*)", *The journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 2, 1973.
- CASTRO, G.: *Propiedades físicas de los productos vegetales, su sentido físico y aplicacione*, Inst. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Medellín, Colombia, 103 p., 1996.
- CIAT (CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL): *Pastos Tropicales*, boletín Informativo, Cali, Colombia, 5-6 p., diciembre de 1983.
- DUKE, J.: *Handbook of legumes of world economic importance*, Ed. Springer Science & Business Media, USA, 2012.
- GANE, A.J.: "Vining peas in England", En: *Dissertations published by PGRO*, England, 1972.
- KHAN, K.; MOSES, S.C.; KUMAR, A.: "Physical Properties of Pigeon Pea Grains at Different Moisture Content", *International Journal of Pure and Applied Bioscience*, 5(2): 556-562, 2017, ISSN: 2320-7051, DOI: <http://dx.doi.org/10.18782/2320-7051.2534>.
- LUYARATI, D.N.: *Economía*, Ed. ENPES, Ediciones ENPES 2da edición ed., 597 p., 1997.
- MOHSENIN, N.N.: *Physical properties of plant and animal materials.*, Ed. Gordon Breach Science Publishers, 2nd ed., vol. 1, New York, USA, 1986.
- NEME, Y.L.; SHEILA, V.K.: *Gandúl: geografía e importancia*, Patanchene, India., 1-14 p., 1990.
- OSPINA, M.; JULIO, E.: *Características físico mecánicas y análisis de calidad de granos*, Inst. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agrícolas. Departamento de Ingeniería Agrícola, Bogotá, Colombia, 225 p., 2001.
- PASOLAC (PROGRAMA PARA LA AGRICULTURA SOSTENIBLE EN LADERAS DE EL SALVADOR): "Lombricultura, una alternativa para pequeños agricultores en laderas", *Revista Centroamericana Laderas*, 9: 35, diciembre de 2000.
- RIOLLANO, A.; PEREZ, A.; RAMOS, C.: "Effects of planting date, variety, and plant population on the flowering and yield of pigeon pea (*Cajanus cajan L.*)", *Journal of*

- Agriculture of the University of Puerto Rico*, 46(2): 126-134, 1962.
- ROBLEDO, L.C.: *Gandul Cajanuscajan(L.) Mill sp. Leguminosea, [en línea]*, Inst. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía, área tecnológica de pastos y forrajes, Guatemala, 2010, *Disponible en: Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/31118870/Cajanus-cajan-Gandul>* , [Consulta: 3 de enero de 2017].
- SANDOVAL, A.J.; ARELLANO, M.L.; CARRANCO, J.M.; PEREZ GIL, R.F.; BALVANERA, P.: “Cajanus cajan L. Millsp. (Gandul) recurso forrajero explotable en México. Su composición química”, *Turrialba (IICA) v. 41 (2) p. 211-216*, 1991.
- SCOTT, R.P.: *Machine for hulling and separating green peas*, no. Patent-387,318, 1888.
- SHEAHAN, C.M.: *Plant guide for pigeonpea (Cajanus Cajan)*, Inst. USDA-Natural Resources Conservation Service, Cape May Plant Materials Center, Cape May, N.J., USA, 2012.
- SHELDRAKE, A.R.: *Pigeonpea in The physiology of tropical field crops*, Ed. John Wiley & Co., Goldsworth, P.R.; Fisher, N.M., ed., Chichester, USA, 385-417 p., 1984.
- SHIRNESHAN, A.: “Physical and Mechanical Properties of beans”, *Journal of American Science*, 7(5): 158-164, 2011.
- SOBOKOLA, O.P.; ONWUKA, V.I.: “Effect of moisture content on some physical properties of locust bean seed (*Parkia fillicoides* L.)”, *Journal of Food Process Engineering*, 34(6): 1946-1964, 2011, ISSN: 0260-8774, DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2009.00511.x>.
- VILCHE, C.; GELY, M.; SANTALLA, E.: “Physical properties of quinoa seeds”, *Biosystems Engineering*, 86(1): 59-65, 2003, ISSN: 1537-5110.
- VILLAMIZAR, C.; GALVIS VANEGAS, A.; MIRANDA LASPRILLA, D.; OSPINA, J.E.; PEREA, M.; RESTREPO, P.; FLÓREZ RONCANCIO, V.: *Inventario de las investigaciones realizadas en poscosecha de productos agrícolas en la Universidad Nacional de Colombia.*, 2004.

Jeny Pérez Petitón, Inv. Aux. Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: jpetiton@unah.edu.cu

Segress García Hevia, e-mail: jpetiton@unah.edu.cu

Ernesto Ramos Carbajal, e-mail: erc670819@gmail.com

Geisy Hernández Cuello, e-mail: geisyh@unah.edu.cu

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.