**IX CONFERENCIA CIENTÍFICA INTERNACIONAL DESARROLLO AGROPECUARIO Y SOSTENIBILIDAD “AGROCENTRO 2019”**

**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***

Autores: Jeny Pérez Petitón1, Geisy Hernández Cuello2, Ernesto Ramos Carbajal3, Segress Garcia Hevia4

1. Jeny Pérez Petitón. Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA). Cuba. [jpetiton@unah.edu.cu](mailto:jpetiton@unah.edu.cu)
2. Geisy Hernández Cuello. Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA). Cuba. [geisyh@unah.edu.cu](mailto:geisyh@unah.edu.cu)
3. Escuela de estudios Agropecuarios de Mezcalapas, Universidad de Chiapas, México. [erc670819@gmail.com](mailto:erc670819@gmail.com)
4. Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Agrarias, Ecuador. [segressgirl@gmail.com](mailto:segressgirl@gmail.com)

**RESUMEN.** El estudio de las propiedades físico-mecánicas es importante para mejorar el diseño y construcción racional 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 (*Cajanus cajan (L.) Mill sp*) 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 la longitud 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 43,6º; 21,07º y 20,13º respectivamente y para las vainas ángulos de 34,9º; 35,38º y 25, 95º.

**ABSTRACT.** The study of the physical-mechanical properties is important for improve 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 (*Cajanus cajan (L.) Mill sp*) 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 43.6º; 21.07º and 20.13º respectively and for the pods angles of 34.9º; 35.38º and 25, 95º.

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

***Keywords:*** Cajanus cajan, friction angle, dimensions

**INTRODUCCIÓN**

El gandul [*Cajanus cajan (L.) Mill sp*.], es originario de la India y más tarde se desarrolló en África. Constituye 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 capacidad 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), establece 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 18–35ºC 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 las 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 ellas 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 Instituto de Ciencias Animal (ICA) ubicado en el municipio San José de las Lajas, Provincia Mayabeque (Figura 1).



FIGURA 1. Finca Guayabal, zona de muestreo.

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 Luyarati, (1997), a través de la siguiente expresión:

donde:

*σ*- desviación típica o estándar;

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

Δ*a* - error máximo permisible de la media.

La media aritmética se determina como:

En la figura 2 se muestra la forma de medición de 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. Dimensiones de la vaina de gandul verde.

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).



FIGURA 3. Dimensiones de los granos de gandul verde.

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

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



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).



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

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 (0º) hasta obtener el ángulo en que comienza la vaina a deslizarse. Este ángulo fue medido con el semicírculo graduado con precisión hasta 1º que se encuentra en el plano inclinado.

En el caso de los granos, el ángulo de fricción, se determinó aplicando el mismo procedimiento e instrumento 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)



FIGURA 6.a) granos unidos con cinta adhesiva, b) plano inclinado.

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

Donde:

Ø - ángulo de fricción, (o).

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 , 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 experimentos, 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.

**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 |

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 espesor y el diámetro geométrico de las semillas de gandul 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 espesor 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 6.78 a 8.06 mm, respectivamente. Al igual que Shirneshan (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 la figura 6 se presentan En los histogramas de frecuencia obtenidos, se aprecia una distribución cercana a la normal de los comportamientos de los valores de cada variable para el caso de los granos.



FIGURA 6. Histogramas de frecuencias para el ancho, largo y espesor 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.



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 |

En la tabla anterior (Tabla 2), se observa que 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.



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

En la Figura 9, se muestra el análisis de las curvas variacionales de distribución de las dimensiones de granos y vainas. En la misma se aprecia 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.



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

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

**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.



FIGURA 10. Histograma de frecuencia para la masa de las vainas.

Los resultados de la determinación del ángulo de fricción de las vainas y granos sobre madera, goma y acero se muestran en la Tabla 4.

**TABLA 4. Estadígrafos determinados para el ángulo de fricción**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Ángulo de fricción (º)** | | | | | | |
| **Granos** | | | **Vainas** | | | |
| **Goma** | **Madera** | **Acero** | **Goma** | **Madera** | **Acero** |
| Media (º) | 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 |

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 20,13º, mientras que la mayor está dado para la superficie de goma 43,6º. 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.



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

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 25,95º, sin embargo en este caso los mayores valores de ángulo de fricción están dados para la superficie de madera con 35,38º, aunque muy similar al de la goma con 34,90 º (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 º) un ángulo de fricción mayor que la vaina (34,90 º), se puede 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 12. Histogramas de ángulos de fricción para vainas en superficies de goma, madera y acero.

**CONCLUSIONES**

1. 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.
2. El ángulo de fricción medio de los granos sobre superficie de goma, madera y acero es de 43,6º; 21,07º y 20,13º respectivamente y para vainas de 34,9º; 35,38º y 25,95º, lo que significa que el material más conveniente a utilizar es la goma para cubrir las superficies de contacto, lo que permite 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.

**REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. 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.
2. CASTRO, G.: *Propiedades físicas de los productos vegetales, su sentido físico y aplicacione*, Inst. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Medellin, Colombia, 103 p., 1996.
3. CIAT (CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL): *Pastos Tropicales*, boletín Informativo, Cali, Colombia, 5-6 p., diciembre de 1983.
4. DUKE, J.: *Handbook of legumes of world economic importance*, Ed. Springer Science & Business Media, 2012.
5. GANE, A.J.: “Vining peas in England”, En: *Dissertations published by PGRO*, England, 1972.
6. 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.
7. LUYARATI, D.N.: *Economía*, Ed. ENPES, Ediciones ENPES 2da edición ed., 597 p., 1997.
8. MOHSENIN, N.N.: *Physical properties of plant and animal materials*, Ed. Gordon Breach Science Publishers, 2nd ed., vol. 1, New York, USA, 1986.
9. NEME, Y.L.; SHEILA, V.K.: *Gandúl; geografía e importancia*, Patanchene, India., 1-14 p., 1990.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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: http://es.scribd.com/doc/31118870/Cajanus-cajan-Gandul*, *[Consulta: 3 de enero de 2017]*.
14. 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.
15. SCOTT, R.P.: *Machine for hulling and separating green peas*, no. Patent-387,318, 1888.
16. 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.
17. 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.
18. SHIRNESHAN, A.: “Physical and Mechanical Properties of beans”, *Journal of American Science*, 7(5): 158-164, 2011.
19. SOBUKOLA, O.P.; ONWUKA, V.I.: “Effect of moisture content on some physical properties of locust bean seed (Parkia fillicoidea 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.
20. VILCHE, C.; GELY, M.; SANTALLA, E.: “Physical properties of quinoa seeds”, *Biosystems Engineering*, 86(1): 59–65, 2003, ISSN: 1537-5110.
21. 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.