

# Propiedades físico-mecánicas del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad BAT 304



<https://cu-id.com/2177/v32n4e09>

## Physical-Mechanical Properties of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) variety BAT 304

Arlenes Sena-Pérez, Annia García-Perreira\*

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

**RESUMEN:** Gran parte de la Agricultura se centra sus esfuerzos en la investigación, en el desarrollo tecnológico y en aportar elementos para incrementar la producción y productividad. Es por ello que el estudio de las propiedades físico-mecánicas es de gran importancia para mejorar 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 las máquinas. El trabajo se realizó en el Laboratorio de calidad de la Facultad Ciencias Técnicas, Universidad Agraria de la Habana, el cual tuvo como objetivo determinar las propiedades físico -mecánicas del grano de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) var. BAT 304 los cuales se obtuvieron de La granja "El guayabal", perteneciente a la Universidad Agraria de La Habana, en plena madurez de cosecha. Obteniéndose la masa de 19,99 g; densidad aparente 1,35 g/cm<sup>3</sup>; esfericidad de 0,92; diámetro geométrico 2,75 mm; diámetro aritmético 7,26 mm; largo 9,93 mm; ancho 6,62 mm; espesor 4,86 mm; fuerza de ruptura 10,21 kgf; firmeza 19,83 kgf. El coeficiente de fricción sobre una superficie de acero alcanzó un valor promedio de 18,4 y el ángulo de caída libre es de 26,6°.

**Palabras clave:** densidad aparente, fuerza de ruptura, variedad, germinación.

**ABSTRACT:** Much of Agriculture focuses its efforts on research, technological development and providing elements to increase production and productivity. That is why the study of the physical-mechanical properties is of great importance to improve the design and construction of equipment and structures for the handling, collection, transport, cleaning, classification and agro-industrial processing, as well as their use as data for entry to the theoretical model that bases the design and operation parameters of the machines. The work was carried out in the Quality Laboratory of the Faculty of Technical Sciences, Agrarian University of Havana, which had the objective of determining the physical-mechanical properties of black bean grains (*Phaseolus vulgaris* L.) var. BAT 304 which were obtained from "El Guayabal" Farm, belonging to the Agrarian University of Havana, in full harvest maturity. The following values were obtained: mass, 19.99 g; bulk density, 1.35 g/cm<sup>3</sup>; sphericity, 0.92; geometric diameter, 2.75 mm; arithmetic diameter, 7.26 mm; length, 9.93mm; width, 6.62mm; thickness, 4.86mm; breaking force, 10.21 kgf and firmness 19.83 kgf. The coefficient of friction on a steel surface reached an average value of 18.4 and the angle of free fall was 26.6°.

**Keywords:** Bulk Density, Breaking Strength, Variety, Germination.

## INTRODUCCIÓN

Los granos además de gran importancia económica, son la base fundamental de la seguridad alimentaria para el ser humano en el mundo. El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una leguminosa, intensamente cultivada desde los trópicos hasta las zonas templadas y ocupa más del 80% de la superficie sembrada (15 millones de hectáreas). Se cultiva esencialmente

para obtener las semillas, las cuales tienen un alto contenido de proteínas, alrededor de un 22% y más.

Está ubicado entre los cinco cultivos con mayor superficie en los países latinoamericanos ([Romeo-Alonzo et al., 2012](#)). La producción mundial de frijol en 2014 se concentró el 63,0% en siete países como: India (16,4%), Myanmar (14,9%), Brasil (13,1%), Estados Unidos (5,3%), México (5,1%), China (4,1%) y Tanzania (4,1%) ([Rosas, 2003; 2012](#)).

\*Author for correspondence: Annia García-Perreira, e-mail: [annia@unah.edu.cu](mailto:annia@unah.edu.cu)

Recibido: 20/05/2023

Aceptado: 01/09/2023

Las regiones frijoleras más importantes en Cuba se encuentran en Holguín, con una extensión de cerca de 3 000 ha; en esta zona la producción se basa fundamentalmente en áreas de campesinos individuales o de pequeñas cooperativas.

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.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los granos de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) negro variedad *BAT 304* utilizados en este estudio, se obtuvieron de La Granja Universitaria "El Guayabal", perteneciente a la Universidad Agraria de La Habana (UNAH), la que se encuentra ubicada a los 23°00'12.5" latitud Norte, y 82°09'57.9" longitud Oeste en el municipio San José de Las Lajas, provincia Mayabeque, Cuba. El suelo existente en la misma, se clasifica como Ferralítico Rojo Típico según Hernández *et al.* (2015) en toda su extensión. Tiene un relieve llano, altura sobre el nivel del mar de 120 m e insolación anual de 1825kWh/m<sup>2</sup>. Las variables meteorológicas registradas durante el periodo 2015-2022 en la Estación Meteorológica Tapaste, mostraron que las temperaturas máximas alcanzadas en la región superaron los 26 °C entre los meses de junio a septiembre y las más frías descendieron como promedio hasta 20,76 °C en enero. Las precipitaciones manifestaron incrementos a partir de mayo, e indicaron los valores medios más elevados en junio y agosto con 255,50 y 245,16 mm, respectivamente. La humedad relativa varió entre 72,8% (mínimo, en marzo) y 84,6% (máximo, en diciembre), mientras que la velocidad del viento expresó su tope máximo de 5,46 km/h durante el mes de febrero. (Figura 1).

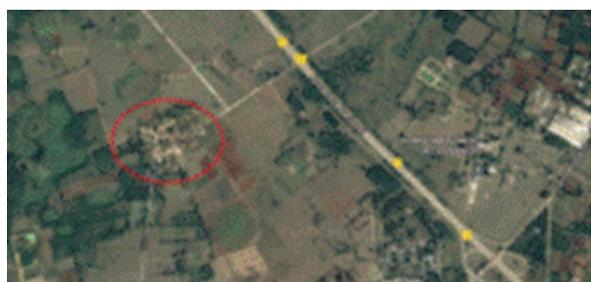


FIGURA 1. Finca el Guayabal.

En las áreas donde se realizaron los experimentos se identificaron por igual cuatro especies de malezas: Don Carlos (*Sorghum halepense* (L.) Pers.), yerba fina

(*Cynodon dactylon* (L.)), metebravo (*Echinochloa colona* (L.) Link) y verdolaga (*Portulaca oleracea* L.), de ellas tres de la familia *Poaceae*, señaladas como de las que más afectan los cultivos en Cuba (Blanco *et al.*, 2016; Blanco, 2017; Blanco-Valdés *et al.*, 2021; Díaz-Díaz y Blanco-Valdés, 2022).

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 según Luyarati (2005), a través de la siguiente expresión:

$$N_m = \frac{t_s^2}{\Delta_a^2} \cdot \sigma^2 \quad (1)$$

donde:

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

$\sigma$ -desviación típica o estándar;

$\Delta_a$ - Error máximo permisible de la media.

La media aritmética se determina como:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n_m} \quad (2)$$

Luego de la selección de la muestra se determinan las características dimensionales del grano, mediante el uso de un pie de rey de 0-150 mm, marca SIMCT., con una precisión de 0,02 mm. Las dimensiones que se midieron en el grano fueron largo (L), ancho (W) y espesor (T), a partir de una muestra de 100 granos (Figura 2 y 3).

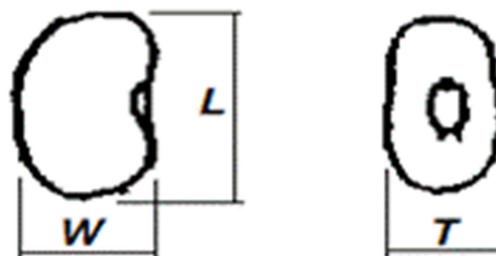


FIGURA 2. Representación de las tres dimensiones de grano de frijol negro BAT 304.



FIGURA 3. Pie de rey.

El diámetro medio geométrico ( $D_g$ ), el diámetro medio aritmético ( $D_a$ ) y el criterio de la esfericidad para determinar la forma de un material biológico se determinó según Mohsenin (2020)

$$D_a = \frac{(L + W + T)}{3} \quad (3)$$

$$D_g = (X \times W \times L)^{1/2} \quad (4)$$

$$\Phi = \frac{D_g}{L} \quad (5)$$

donde:

L- longitud, mm;

W- ancho, mm;

T- espesor, mm;

Da- diámetro medio aritmético, mm;

Dg- diámetro medio geométrico, mm;

Φ- esfericidad, (adimensional).

La masa de 100 granos, según describe [Vielma \(2015\)](#), se determinó utilizando una balanza experimental electrónica modelo collage a de 0 a 1000 g/0,1 (g) ([Figura 4](#)) con un porcentaje de error de 0,001 g. Dicho procedimiento se repite tres veces consecutivamente y se toma el valor promedio de las tres observaciones

La densidad aparente es la relación entre la masa del material y el volumen real ocupado por la partícula, excluyendo los espacios vacíos. La densidad aparente es un factor importante en el análisis de transferencias de masa y calor a través de los granos, en el control de calidad, en la evaluación, cálculo y diseño de sistemas de transporte, limpieza y clasificación.

$$\rho = \frac{m}{V}, \frac{kg}{cm^3} \quad (6)$$

donde:

m- masa, kg;

V- volumen, cm<sup>3</sup>.

Se determinó según [Rojas et al. \(2010\)](#) por el método de desplazamiento de líquido, utilizando un recipiente aforado de 100 ± 0,1 ml, el cual se llenó con 20 mL de agua destilada; luego, se sumergieron 20 gramos de semilla por un tiempo corto de 10 segundos, evitando que el grano absorbiera agua y cuidando que no quedara ningún grano en la superficie. El volumen del agua desplazada se registró por lectura directa en la escala del recipiente. La densidad aparente (ρ<sub>a</sub>), en g/cm<sup>3</sup>, de las semillas se determinó como la relación entre la masa de las semillas (g) y el volumen del agua desplazada (cm<sup>3</sup>) realizando 10 repeticiones ([Figura 5](#)).

Para las propiedades físico-mecánicas y la determinación del ángulo de fricción se utilizó un plano inclinado donde se utilizó una superficie de metal completamente limpia ([Figura 6](#)).

Después de colocar el grano sobre las superficies anteriormente descrita, se procede a mover la rampa desde la posición horizontal (0°) hasta obtener el ángulo en que comienza el grano a deslizarse. Este ángulo fue medido con el semicírculo graduado con precisión hasta 1° que se encuentra en el plano inclinado. Para determinar el coeficiente de fricción estático se utilizan las ecuaciones que responden al equilibrio de un sólido rígido.



FIGURA 4. Balanza Electrónica.



FIGURA 5. Medición de la densidad aparente.

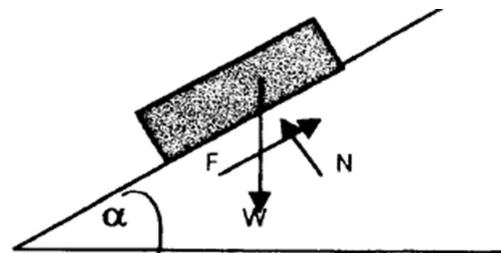


FIGURA 6. Fuerza normal y de fricción en plano inclinado.

$$C_d = \tan(\Phi) \quad (7)$$

donde:

Ø- ángulo de fricción estático.

El ángulo de talud: se realiza con un plano inclinado ([Figura 7](#)) en una superficie de acero. Para evaluarlo se realizaron 20 repeticiones y luego se determina el promedio. El grano (en este caso frijol var. BAT 304) se coloca sobre la superficie y se eleva hasta alcanzar la pendiente máxima, en la cual el grano comienza a girar. Este ángulo también se le conoce como ángulo máximo de caída libre (φ)

La fuerza de ruptura, F<sub>r</sub> (N) es la fuerza mínima requerida para romper la muestra, se obtiene al aplicar una carga a una velocidad constante, la misma va a someter el grano a una presión interna que provocará la ruptura de su estructura celular

Firmeza,  $F_m$  (N/mm) para este tipo de granos se determina como la relación de la fuerza aplicada ( $F$ ) y la deformación ( $D$ ) al comprimir el 4% del espesor del grano según [Ospina y Julio \(2001\)](#). Se calcula como:

$$F_m = \frac{F}{D} \quad (8)$$

donde:

$F_m$ - firmeza, N/mm;  
 $F$ - fuerza aplicada, N;  
 $D$ - deformación, mm.

Se determinó al comprimir el grano a una velocidad constante de a una velocidad de 0,08 mm/s permitida para semillas y granos por la norma ASAE S368.4 DEC00, 2001, según [Ruiz-Altisent y Ortiz-Cañavate, \(2005\)](#) (Figura 8).

Para obtener los datos del ensayo se utilizó una cámara; para obtener el video que permite monitorear la medición constante del lector digital del penetrómetro. Los videos fueron exportados al software Windows Media Player y visualmente fue obtenida la fuerza máxima (N) al momento de la ruptura del grano.

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 ( $X$ ), la Desviación Típica de la media ( $\sigma$ ), el Error de la media ( $\Delta r$ ) y el Coeficiente de Variación (C.V.).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la [Tabla 1](#), se aprecian los resultados del análisis descriptivo realizado a las dimensiones de granos. Los estadígrafos se encuentra dentro del rango obtenido por autores como [Kibar y Öztürk \(2009\)](#); [Shirkole et al. \(2011\)](#); [Vielma \(2015\)](#) para variedades similares de la familia fabaceae, con valores de masa 19,99 g, densidad 1,35 g/cm<sup>3</sup>, esfericidad 92%, diámetro geométrico 2,75 mm, diámetro aritmético 7,26 mm y talla (19,93 x 6,62 x 4,86 mm) del frijol negro en estudio.

En la misma se observa que el ancho medio del grano de frijol (*Phaseolus vulgaris* L var. Quivicán) oscila entre 5,05 y 10,85 mm, el largo se encuentra entre 4,9 y 20,25 mm y el espesor entre 3,5 y 9,2 mm. Los valores del diámetro aritmético oscilan entre 5,66 y 18,75mm, y diámetro geométrico entre 2,55 y 3,11mm. Valores similares obtuvieron [Góngora-Martínez et al. \(2020\)](#) en granos donde el diámetro



FIGURA 7. Ángulo de talud en superficie de acero.



FIGURA 8. Montaje del equipo de ensayos.

medio geométrico varió de 3,2 a 8,4 mm, respectivamente.

Los granos del frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L var. BAT304) analizados en el experimento tenían buena apariencia, estructura y color uniforme adecuada a la variedad, además de ser sana a la vista. La firmeza demuestra que es un grano blando, que es adecuado para la cocción. Estas propiedades evaluadas demuestran que el frijol objeto de estudio tiene la calidad requerida, tanto para el consumo como para su mecanización.

Lo anteriormente expuesto evidencia la calidad comercial del grano de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L var. BAT 304).

En la [Tabla 2](#) se muestran la variación de los valores que son el resultado de las pruebas y cálculos, durante la aplicación gradual de fuerzas a compresión a un grano. Los valores de la fuerza de ruptura ( $F_r$ ) y firmeza ( $F_m$ ) fueron de 10,21 y 19,83 kgf respectivamente, correspondiente al 4% de deformación. El coeficiente de fricción estática fue de 18,4 y el ángulo máximo de caída libre es de 26,6°.

TABLA 1. Promedio de las propiedades físicas del frijol negro variedad BAT 304

Estadígrafos principales	$\phi$	m (g)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	v (m <sup>3</sup> )	Da (mm)	Dg (mm)	l (mm)	w (mm)	t (mm)
Media	0,92	19,99	1,35	16,2	7,26	2,75	9,93	6,62	4,86
Desviación Estándar	0,03	1,32	4,28	4,41	0,074	1,3	1,42	0,79	0,76
Moda	0,92		18	19,0	2,75	7,33	9,6	6,6	4,4
Mínimo	0,85	18,5	10	10,0	2,55	5,66	4,9	5,05	3,5
Máximo	1,04	22	20	20,0	3,12	18,75	20,25	10,85	9,2
Mediana	0,91	19,83	18	18,0	2,74	7,05	9,9	6,5	4,7

**TABLA 2.** Propiedades físicas del frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L var. BAT 304)

Estadígrafos principales	Fr (kgf)	Fm (kgf)	Ángulo máximo de caída libre (°)	Φ
Media	10,21	19,83	18,4	26,6
Error de estándar	0,78	0,65	0,29	0,61
Moda	9,25			26
Mínimo	4,56	14,18	16	23
Máximo	18,5	26,1	21	35
Mediana	10,12	19,45	18	26

Se muestran los valores correspondientes a las propiedades mecánicas del frijol objeto de estudio. Se observan que los valores de la fuerza de ruptura oscilan entre 4,56 y 18,5 kgf, y el coeficiente de fricción se encuentra entre 16,0 y 21,0. La firmeza oscila entre valores de 14,18 y 26,1 kgf; y el ángulo de caída libre oscila entre 23,0° y 35,0° respectivamente.

Estos valores evidencian que el frijol objeto de estudio posee valores aptos para su mecanización.

### CONCLUSIONES

- El frijol banco (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad BAT 304 tiene una masa de 19,99 g, densidad 1,35 g/cm<sup>3</sup>, esfericidad 92%, diámetro geométrico 2,75 mm, diámetro aritmético 7,26 mm, talla 9,93 x 6,62 x 4,86 mm.
- La fuerza de ruptura (Fr) y firmeza (Fm) fueron de 20,21 y 18,83 kgf respectivamente, correspondiente al 4% de deformación. El coeficiente de fricción estática fue de 20,3 y el ángulo máximo de caída libre es de 25,25°.
- Todo ello evidencia que son frijoles de alta calidad y posee además las características adecuadas para su utilización como semilla y para ser mecanizada su siembra y cosecha.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLANCO, V.F.; COCA, C.O.; LABRADA, A.H.; CRUZ, C.E.; MACHÍN, R.R.: “Diversidad y evolución de especies arvenses en caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en la provincia Sancti Spiritus”, *Centro Agrícola*, 43(2): 23-27, 2016, ISSN: 2072-2001.
- BLANCO, Y.: *Manejo oportuno de las arvenses en sus relaciones interespecíficas con los cultivos del maíz (Zea Mays L.) y del frijol (Phaseolus vulgaris L.) en un sistema sucesional*, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba, Publisher: INCA, 2017.
- BLANCO-VALDÉS, Y.; LEYVA-GALÁN, Á.; CASTRO-LIZAZO, I.: “Las arvenses como hospedantes de microorganismos en un agroecosistema de sucesión *Zea mays* L.-*Phaseolus vulgaris* L.”, *Acta Agronómica*, 70(2): 133-140, 2021, ISSN: 2323-0118.
- DÍAZ-DÍAZ, Y.; BLANCO-VALDÉS, Y.: “Las arvenses como indicador microbiológico del suelo”, *Cultivos Tropicales*, 43(1): 12, 2022, ISSN: 1819-4087.
- GÓNGORA-MARTÍNEZ, O.; RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, P.A.; CASTILLO-FERRER, J.: “Comportamiento agronómico de variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris*, L.) en las condiciones edafoclimáticas del municipio Songo-La Maya, Santiago de Cuba, Cuba”, *Ciencia en su PC*, 1: 31-45, 2020, ISSN: 1027-2887, Publisher: Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba.
- HERNÁNDEZ, J.A.; PÉREZ, J.; BOSCH, I.; CASTRO, S.: *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba*, Ed. Ediciones INCA, Mayabeque, Cuba, Primera edición ed., San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, 93 p., 2015, ISBN: 978-959-7023-77-7.
- KIBAR, H.; ÖZTÜRK, T.: “The effect of moisture content on the physico-mechanical properties of some hazelnut varieties”, *Journal of Stored Products Research*, 45(1): 14-18, 2009, ISSN: 0022-474X, Publisher: Elsevier.
- LUYARATI, D.N.: *Economía*, Ed. ENPES, 2da edición, San José de las Lajas, La Habana, Cuba, 597 p., 2005.
- MOHSENIN, N.N.: *Physical properties of plant and animal materials*, Ed. Routledge, Gordon Breach Science Publishers, 2nd ed., vol. 1: physical characteristics and mechanical properties, New York, USA, 2020, ISBN: 1-00-012263-8.
- 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.
- ROJAS, W.; SOTO, J.L.; PINTO, M.; JÄGER, M.; PADULOSI, S.: “Granos andinos: avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia”, 2010, ISSN: 9290438584.
- ROMEO-ALONZO, S.; LÓPEZ-LÓPEZ, V.; ROSAS, J.: *Módulo 2.: Manejo, conservación y desarrollo*

- de la Agrobiodiversidad en frijol., Inst. Programa Colaborativo de Fitomejoramiento Participativo en Mesoamérica ..., 2012.
- ROSAS, J.C.: *El cultivo del frijol común en América Tropical*, Escuela Agrícola Panamericana, 2014, 2003.
- ROSAS, J.C.: *Manejo, conservación y desarrollo de la agrobiodiversidad en frijol*, Inst. Programa Colaborativo de Fitomejoramiento Participativo en Mesoamérica. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras, 2012.
- RUIZ-ALTISENT, M.; ORTIZ-CANAVATE, J.: "Instrumentation and procedures for commercial non-destructive determination of firmness of various fruits", En: *2005 ASAE Annual Meeting*, Ed. American Society of Agricultural and Biological Engineers, p. 1, 2005, ISBN: 1-940956-14-5.
- SHIRKOLE, S.; KENGHE, R.; NIMKAR, P.: "Moisture dependent physical properties of soybean", *International Journal of Engineering Science and Technology*, 3(5): 3807-3815, 2011.
- VIELMA, J.P.: "Mixed integer linear programming formulation techniques", *Siam Review*, 57(1): 3-57, 2015, ISSN: 0036-1445, Publisher: SIAM.
- VILLAMIZAR, F.; RESTREPO, P.; OSPINA, J.; MIRANDA, D.; FLÓREZ, V.; GALVIS, A.; PEREA, M.: "Inventario de las investigaciones realizadas en poscosecha de productos agrícolas en la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá", *Grupo de poscosecha. Bogotá*, 2004.

Arlenes Sena-Pérez, Ing. Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Autopista Nacional km 23½, Carretera de Tapaste, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: arlenes@unah.edu.cu.

Annia García-Pereira, Dr.C., Profesora Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Autopista Nacional km 23½, Carretera de Tapaste, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: annia@unah.edu.cu.

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

**CONTRIBUCIONES DE AUTOR:** **Conceptualización:** A. García. **Curación de datos:** A. García, A. Sena. **Análisis formal:** A. García, A. Sena. **Investigación:** A. García, A. Sena. **Metodología:** A. García. **Supervisión:** A. García. **Validación:** A. García. **Visualización:** A. García, A. Sena. **Redacción-borrador original:** A. García, A. Sena. **Redacción-revisión y edición:** A. García, A. Sena.

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.