



Evaluation of Two Mills for Cattle Waste Grinding for Pig Feeding

Evaluación de dos molinos para triturado de desechos de vacunos para la alimentación de cerdos

MSc. Irania Quevedo-Herrero¹, Dr.C. Pablo M. Hernández-Alfonso¹, MSc. Cristhian José Carico¹,
MSc. Vilma Toledo-Diepa¹, Dr.C. Jorge García-Coronado¹

¹Universidad Agraria de La Habana, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

¹ Universidad Politécnica Tecnológica “José Antonio Anzoátegui” (UPTJAA), El Tigre, Anzoátegui, Venezuela.

ABSTRACT. Pig production in Venezuela has been affected by the high costs of concentrated feed. An alternative to reduce production costs in feeding pigs is the use of cattle bones, due to their high protein content and other properties that lead to a good diet in the pig fattening process. The evaluation of the working organs of two mills in the crushing of cattle bones was carried out, determining the quality of crushing and energy consumption. The granulometry and impact energy on the Sharpy pendulum were determined. A 2³ factorial type experimental design, dispersion curves and Pareto bars were applied. The controlled variables were type of mill, wet mass and type of bone and the response variables were sieved mass, grinding time, engine revolutions and humidity. The physical and mechanical properties as well as length, dry mass, wet mass, force and effort were determined. Finger and nose mills and hammer mills were compared for grinding quality and energy consumption. The hammer mill was found to have higher efficiency.

Keywords: Hammer Mill, Finger and Nose Mill, Sharpy Pendulum.

RESUMEN. La producción de cerdos en Venezuela se ha visto afectada por los altos costos de los alimentos concentrados. Una alternativa para disminuir los costos de producción en la alimentación de cerdos es el uso de huesos de ganado vacuno, por su alto contenido de proteínas y otras propiedades que conllevan a una buena alimentación en el proceso de engorde de cerdos. Se realizó la evaluación de los órganos de trabajo de dos molinos en el triturado de huesos de ganado vacuno determinándose la calidad de triturado y consumo energético. Fueron determinadas la granulometría y la energía de impacto en el péndulo Sharpy. Se aplicó un diseño experimental tipo factorial 2³, curvas de dispersiones y barras de Pareto. Como variables controladas se tuvo el tipo de molino, masa húmeda y tipo de hueso y como variables respuestas la masa tamizada, tiempo de molienda, revoluciones del motor y humedad. Se determinaron las propiedades físicas y mecánicas, así como, longitud, masa seca, masa húmeda, fuerza y esfuerzo. Se compararon los molinos de dedos y sufrideras y de martillo en cuanto a calidad de triturado y consumo energético. Se determinó que el molino de martillo tiene mayor eficiencia.

Palabras clave: molino martillo, molino de dedos y sufrideras, péndulo Sharpy.

INTRODUCTION

Pig feeding constitutes an extremely serious problem according to Campabadal (2009), taking into account that the pig performs an impeccable competition with man be-

INTRODUCCIÓN

La alimentación del ganado porcino constituye un problema extremadamente serio según Campabadal (2009), si se tiene en cuenta que el cerdo realiza una impecable competencia con el hombre

¹ Author for correspondence: Irania Quevedo-Herrero, e-mail: iraniaq@unah.edu.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-0027-6042>

Received: 18/12/2120.

Approved: 20/09/2021.

cause its traditional diet consists of cereals and other products for human consumption and since its requirements of proteins are 5 to 8 times higher than those in man (Iglesias & Soto, 1987; Martínez, 2011). Due to the increase in food needs in the population in terms of eggs, meat and milk, it is desired that the nutrition of farm animals not only depend on plant sources but also on animal by-products (BPFA-ICA, 2020; FAO e IFIF, 2016; Keene *et al.*, 2005; Uribe *et al.*, 2011). Poultry and pig industries are the main consumers of meat and bone meal (Hamilton and Kirstein, 1996). To obtain a quality food, it is necessary to observe a series of zootechnical requirements that must be taken into account when submitting a material to the grinding process, mainly in relation to the size of the particle (Buitrago *et al.*, 2004; Careeta, 2013; Covenin 1882-83: 83, 1983; Parra & Portilla, 1987). A feasible method for obtaining these flours is through the use of mills (Martínez, 2007; 2009; Paneque, 1988; Paneque *et al.*, 2018) Villa Clara, Cuba”, ”publisher”: ”Universidad Central de las Villas (UCLV. For this reason, the present work aims to evaluate the working regimes of hammer mills and fingers and nose mills during the obtaining of cattle bone meal of zootechnical quality for feeding pigs, with rational use of electrical energy.

MATERIALS AND METHODS

Two types of bones, scapula and femur, were selected as raw materials, since they meet the geometric conditions to guarantee their dimensioning more reliably and the hammer mill and the finger and nose mill were used (Chirino, 1980; Castillo, 2011). The bones came from two small meat industries in the area (Bodegón el Destete and Bodegón Doña África), located in the city of El Tigre, Anzoátegui State, Venezuela.

The physical and mechanical properties of the bones to be considered in the evaluation of the working organs of the mills were:

- a) **Physical properties:** humidity, mass, length, diameter and density.
- b) **Mechanical properties:** energy absorbed on impact (force and effort).

The grinding procedure was carried out in the Workshop of Warehouse 4, belonging to the UPTJAA's National Mechanics Training Program (PNF-Mechanics), which has an area of 1,500 m², which is equipped with machines and equipment necessary for teaching.

In the tests carried out with scapula and femur bones, the experimental conditions were considered, taking different photographic images, with their respective dimensions in order to characterize:

- a) Natural condition, in which the scapula bones are white, with solid shape and almost trapezoidal geometry and the femur bones are light white and with elongated hollow cylindrical shape and a soft moist mass inside.
- b) Chopped condition (pieces of approximately between 10 and 12 cm).

debido a que su alimentación tradicional consiste en cereales y otros productos de consumo humano y que desde el punto de vista proteico sus requerimientos son de 5 a 8 veces superior que en el hombre. (Iglesias & Soto, 1987; Martínez, 2011). Debido al incremento de las necesidades alimentarias en la población en cuanto a huevo, carne y leche, se quiere que la nutrición de los animales de explotación, no solo dependa de fuentes vegetales sino también de subproductos de animales (BPFA-ICA, 2020; FAO e IFIF, 2016; Keene *et al.*, 2005; Uribe *et al.*, 2011). Las industrias avícola y porcina son los principales consumidores de harina de carne y hueso (Hamilton y Kirstein, 1996). Para obtener un alimento de calidad es necesario observar una serie de exigencias zootécnicas que deben tenerse presentes a la hora de someter un material al proceso de trituración, fundamentalmente en lo relacionado con el tamaño de la partícula (Buitrago *et al.*, 2004; Careeta, 2013; Covenin 1882-83: 83, 1983; Parra & Portilla, 1987). Un método factible para la obtención de estas harinas es a través de la utilización de molinos (Martínez, 2007; 2009; Paneque, 1988; Paneque *et al.*, 2018) Villa Clara, Cuba”, ”publisher”: ”Universidad Central de las Villas (UCLV. Por ello el presente trabajo tiene como objetivo evaluar los regímenes de trabajo de los molinos de martillo y el de dedos y sufrideras durante la obtención de harina de hueso de ganado vacuno para la alimentación de cerdos, con un uso racional de la energía eléctrica en los mismos y obteniendo una harina que cumpla con las exigencias zootécnicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron como materia prima dos tipos de huesos, escápula y fémur, ya que reúnen las condiciones geométricas para garantizar su dimensionamiento de forma más confiable y se utilizaron el molino de martillo y el molino de dedos y sufrideras (Chirino, 1980; Castillo, 2011). Los huesos provienen de dos pequeñas industrias cárnicas de la zona (Bodegón el Destete y Bodegón Doña África), ubicadas en la ciudad de El Tigre, estado Anzoátegui, Venezuela.

Las propiedades físicas y mecánicas de los huesos a considerar en la evaluación de los órganos de trabajo de los molinos fueron:

- a) **Propiedades físicas:** humedad, masa, longitud, diámetro y densidad.
- b) **Propiedades mecánicas:** energía absorbida en impacto (fuerza y esfuerzo).

El procedimiento de molinado se realizó en el Taller del Galpón 4, perteneciente al Programa Nacional de Formación en Mecánica (PNF-Mecánica) de la UPTJAA, el cual presenta un área de 1 500 m², estando equipado con máquinas y equipos necesarios para impartir la docencia.

En las pruebas realizadas a los huesos de escápula y de fémur se consideraron las condiciones de experimentos, tomándose diferentes imágenes fotográficas, con sus respectivas dimensiones con el objeto de caracterizar:

- a) Condición natural, en esta se distinguen en los huesos de escápula el color blanco, forma maciza con geometría casi trapezoidal y los huesos de fémur de color blanco claro y forma cilíndrica hueca alargada, con masa húmeda blanda en su interior.
- b) Condición troceada (trozos de aproximadamente entre 10 y 12 cm).

a) Ground condition, to appreciate coloration and granulometry in bone meal (Ramos, 2010).

The DPM 4 hammer mill, manufactured in Brazil, is located in the Workshop of Warehouse 4, belonging to the UPTJAA National Mechanics Training Program. It is a stationary machine, used to grind mainly grains, activated by means of a three-phase electric motor that is turned on manually and has the following characteristics: power 8 kW, voltage 220 V, nominal current 15.7 A, nominal speed 3,300 rpm (rotation frequency), it has 24 hammers, drum diameter 0.293 m, drum length 0.095 m, hammer length 0.115 m, hammer width 0.042 m and hammer thickness 0.005 m. It should be noted that due to the lack of the original motor of this mill, it was worked with a 4 kW and 1 790 rpm motor.

The tool or working organ consists of a hammer (mobile) and blades (fixed), which act by impacting the raw material, successively cutting it into smaller pieces until the corresponding flour granulometry is obtained.

The CADELMA brand finger and nose mill, manufactured in Maracaibo, Venezuela, is located in the same place and is a stationary machine that is used to grind mainly grains. It is activated by means of a three-phase electric motor that is turned on manually by the operator and it has the following characteristics: power 4 kW, voltage 220 V, nominal current 15.7 A, nominal speed 1,790 rpm (rotation frequency), it presents 3 steel blades in the shape of hands 0.15 m high, 0.8 m wide and 0.01 m thick, drum diameter 0.34 m and drum length 0.14 m. The tool or working organ consists of paddles in the form of fingers and fixed blades that cut the material before crushing it.

Both mills work with a motor whose power is below the technical requirements established by the manufacturers (15 kW).

To obtain the flour from the selected raw material, the following steps were carried out:

- **Reception of the raw material:** The used bones were minced in sizes of different measures (random) to be able to be processed by the mills.
- **Storage:** The raw material was transported to Warehouse 4 belonging to the Department of Mechanical Engineering of the UPTJAA, where it was stored to later proceed to carry out the experiments.
- **Weighing and bagging in masses:** The chopped bone pieces were weighed in mass samples of 1, 2, 3, 4 and 5 kg (three portions or samples for each kg of weighed mass respectively), being subsequently bagged.
- **Grinding:** Once the distribution of the samples was completed (weighing and bagging), they were ground in both mills under the same weight and motor power conditions (4 kW) in the same weighing order.
- **Drying process:** The ground bone samples were subjected to free or natural convection drying for a period of sixty-seven (67) days.
- **Sifting:** After the drying process, the ground material was sifted through 4, 2 and 1 mm sieves.

a) Condición molida, para apreciar en las harinas de hueso su coloración y granulometría (Ramos, 2010).

El molino de martillos DPM 4, fabricado en Brasil, se encuentra ubicado en el Taller del Galpón 4, perteneciente al Programa Nacional de Formación en Mecánica de la UPTJAA. Es una máquina estacionaria, utilizada para moler principalmente granos, activado por medio de un motor eléctrico trifásico que se enciende de forma manual y tiene las siguientes características: potencia 8 kW, voltaje 220 V, corriente nominal 15,7 A, velocidad nominal de 3 300 rpm (frecuencia de rotación), presenta 24 martillos, diámetro del tambor de 0,293 m, largo del tambor 0.095 m, largo del martillo 0,115 m, ancho del martillo 0,042 m y grosor del martillo de 0,005 m. cabe destacar que debido a la falta del motor original de este molino, se trabajó con un motor de 4 kW de potencia y 1 790 rpm.

La herramienta u órgano de trabajo consta de martillo (móvil) y cuchillas (fijas), que actúan impactando la materia prima cortándola sucesivamente en trozos más pequeños hasta obtener la correspondiente granulometría de la harina.

El molino de dedos y sufrideras marca CADELMA, fabricado en Maracaibo, Venezuela, se encuentra ubicado en el mismo lugar y es una máquina estacionaria que se utiliza para moler principalmente granos, es activado por medio de un motor eléctrico trifásico que es encendido por el operador de forma manual y tiene las siguientes características: potencia 4 kW, voltaje 220 V, corriente nominal 15,7 A, velocidad nominal de 1 790 rpm (frecuencia de rotación), presenta 3 paletas de acero en forma de manos con 0,15 m de alto, 0,8 m de ancho y 0,01 m de espesor, diámetro del tambor de 0,34 m, largo del tambor 0,14 m. La herramienta u órgano de trabajo consta de paletas en forma de dedos y cuchillas fijas que cortan el material antes de tritararlo.

Ambos molinos trabajan con un motor cuya potencia está por debajo de los requerimientos técnicos establecidos por los fabricantes (15 kW):

- Para obtener la harina a partir de la materia prima seleccionada, se realizaron los siguientes pasos:
- **Recepción de la materia prima:** Los huesos usados se picaron en tamaños de diferentes medidas (aleatorias) para poder ser procesados por los molinos.
- **Almacenamiento:** La materia prima fue transportada hasta el Galpón cuatro perteneciente al Departamento de Ingeniería Mecánica de la UPTJAA, donde fue almacenada para posteriormente proceder a realizar los experimentos.
- **Pesado y embolsado en masas:** Los trozos de huesos picados fueron pesados en muestras de masas de 1, 2, 3, 4 y 5 kg (tres porciones o muestras por cada kg de masa pesada respectivamente), siendo embolsadas posteriormente.
- **Molienda:** Cumplido la distribución de las muestras (pesado y embolsado), se procedió a moler en ambos molinos en las mismas condiciones de peso y potencia del motor (4kW) en el mismo orden de pesaje.
- **Proceso de secado:** Las muestras de huesos molidos, fueron sometidas a un secado a convección libre o natural, por un lapso de sesenta y siete (67) días.
- **Tamizado:** Transcurrido el proceso de secado, se procedió a tamizar la materia molida en los tamices de 4, 2 y 1 mm.

RESULTS AND DISCUSSION

Analysis of the Physical-Mechanical Properties of Cattle Bones for their Crushing

Tables 1 and 2 show the measurements of mass, length, thickness and diameters of the bones of cattle scapulae and femur, with their respective averages; while Table 3 shows the function models: exponential, linear, logarithmic, polynomial order 2 and potential (Walpole *et al.*, 1999; 2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de las propiedades físico mecánicas de los huesos de ganado vacuno para su trituración.

En las Tablas 1 y 2 se muestran las medidas de masa, longitud, espesor y diámetros de los huesos de ganado vacuno escápula y fémur, con sus respectivos promedios; mientras que en la Tabla 3 se muestran los modelos de funciones: exponencial, lineal, logarítmica, polinómica orden 2 y potencial (Walpole *et al.*, 1999; 2012).

TABLE 1. Scapula bone measurements
TABLA 1. Medidas de los huesos de escápula

Bone	Sample	Mass (g)		Length (mm)		Thickness (mm)		Average (mm)	
		m	L ₁	L ₂	e ₁	m	L ₁		
Scapula	1	730	370	400	17.3	10.9	5.2	385	11.1
	2	750	350	390	19.9	9.8	4.6	370	11.4
	3	750	370	395	19.7	13.9	6.8	382	13.5
	4	780	370	380	19.0	13.5	7.2	375	13.2
	5	1050	385	400	27.4	18.6	7.0	392	17.7
	6	900	370	380	19.7	12.7	8.0	375	13.5
	7	800	370	400	19.6	13.1	5.5	385	12.7
	8	800	380	400	21.9	13.0	7.0	390	14.0
	9	1180	380	420	24	16.6	9.4	400	16.7

TABLE 2. Measurements of the femur bones
TABLA 2. Medidas de los huesos de fémur

Bone	Sample m L ₁	Mass (g)		Length (mm)			Diameter (mm)		Average (mm)	
		L ₂	L ₃	D ₁	D ₂	D ₃	Length	Diameter		
Femur	1	1700	370	350	390	51.6	10.9	49.05	370	47.4
	2	2070	350	380	410	56	9.8	51.2	396.7	50
	3	2030	370	370	410	56.85	13.9	51.2	390	50.3
	4	2070	370	340	400	58.2	13.5	52.9	366.7	51.5
	5	1850	385	360	400	56.1	18.6	52.7	380	50.6
	6	1970	370	340	390	19.7	12.7	52.9	363.3	52.1
	7	1770	370	360	400	19.6	13.1	54.9	380	48.9
	8	1850	380	350	380	21.9	13.0	55	363.3	49.4
	9	2400	380	360	420	24	16.6	57.05	390	54.3

TABLE 3. Function Models, statistical requirement of correlation R²
TABLA 3. Modelos de Funciones, requerimiento estadístico de correlación R²

Models	Bone-Requirements-Measurements							
	a) Scapula				b) Femur			
	Length		Thickness		Length		Diameter	
Features	R ²	%	R ²	%	R ²	%	R ²	%
Exponential	0.4721	47.21	0.7541	75.41	0.2168	21.68	0.7726	77.26
Linear	0.4810	48.10	0.7762	77.62	0.2205	22.05	0.7776	77.76
Logarithmic	0.4600	46.00	0.7923	79.23	0.2163	21.63	0.7797	77.97
Polynomial of Order 2	0.5395	53.95	0.8128	81.28	0.2234	22.34	0.7786	77.86
Potential	0.4516	45.16	0.7780	77.80	0.2124	21.24	0.7720	77.20

According to the data obtained in Tables 1 and 2, it can be observed that, for the scapula bone, the thickness has better conditions regarding the position for the impact test on the Sharpy pendulum.

De acuerdo a los datos obtenidos en las Tablas 1 y 2, se puede observar que, para el hueso de escápula, el espesor posee mejores condiciones en cuanto a la posición para el ensayo de impacto en el péndulo Sharpy.

On the other hand, for the femur bone, the best position for the impact test is the diameter compared to the length in the Sharpy pendulum.

Por otra parte, para el hueso fémur, la mejor posición para el ensayo de impacto es el diámetro en comparación con la longitud en el péndulo Sharpy.

Analysis of the Operational Parameters Depending on the Quality of the Crushed

Análisis de los parámetros operacionales en función de la calidad del triturado

Table 4 shows the operational parameters of the finger, nose and hammer mills.

En la Tabla 4 se muestran los parámetros operacionales de los molinos de dedos y sufrideras y de martillo.

TABLE 4. Matrix of operational parameters of the finger and nose mill and hammer mill
TABLA 4. Matriz de parámetros operacionales del molino de dedos y sufrideras y molino de martillo

N° Tests	Finger and nose mill			Hammer mill						
	Initial mass (kg)	Bone	Milled time (s)	Granulometries at 67 days			Ground time (s)	Granulometries at 67 days		
				1 mm	2 mm	4 mm		1 mm	2 mm	4 mm
1	1000	femur	120.23	0	0	100	60.15	0	50	200
2	1000	Scapula	120.5	0	50	50	45.65	25	100	300
1	2000	femur	180.49	0	50	150	60.57	50	150	400
2	2000	Scapula	240.12	50	100	400	60.2	50	150	500
1	3000	femur	300.42	0	50	200	120.46	50	200	500
2	3000	Scapula	360.47	100	200	700	120.42	100	200	700
1	4000	femur	480.36	50	200	600	120.5	50	250	800
2	4000	Scapula	540.18	100	300	900	120.59	150	400	1100
1	5000	femur	660.45	100	300	800	240.01	150	400	1200
2	5000	Scapula	900.12	150	400	1200	125.56	150	500	1500

Source. The authors

Figure 1 shows the measurements (length, thickness and diameter) against bone mass (scapula and femur). According to the data obtained in Figure 1, it can be observed that, for the scapula bone, the thickness has better conditions regarding the position for the impact test on the Sharpy pendulum. On the other hand, for the femur bone, the best position for the impact test is the diameter compared to the length in the Sharpy pendulum.

En la Figura 1 se muestran las medidas (longitud, espesor y diámetro) contra masa de los huesos (escápula y fémur). De acuerdo a los datos obtenidos en la Figura 1, se puede observar que, para el hueso de escápula, el espesor posee mejores condiciones en cuanto a la posición para el ensayo de impacto en el péndulo Sharpy. Por otra parte, para el hueso fémur, la mejor posición para el ensayo de impacto es el diámetro en comparación con la longitud en el péndulo Sharpy.

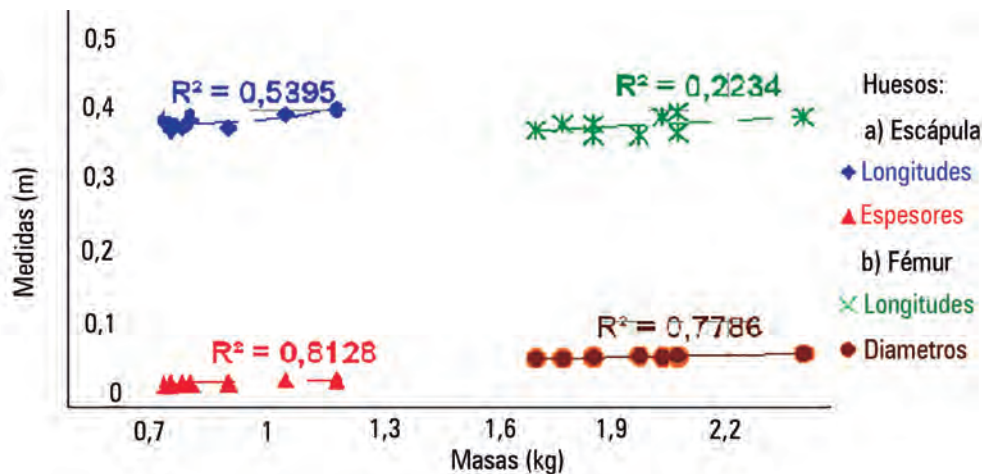


FIGURE 1. Measurements (length, thickness and diameter) against bone mass (scapula and femur).
 FIGURA 1. Medidas (longitud, espesor y diámetro) contra masa de los huesos (escápula y fémur).

Figure 2 shows the behavior of the initial mass as a function of time of the finger and nose mill to determine the mass after the grinding and drying process.

En la Figura 2 se muestra el comportamiento de la masa inicial en función del tiempo del molino de dedos y sufrideras para determinar la masa luego del proceso de molido y secado.

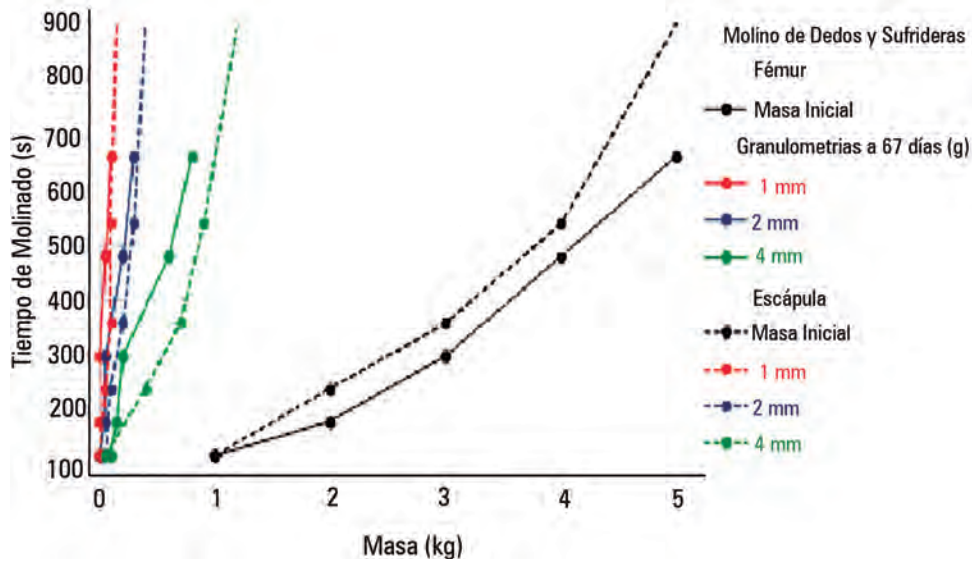


FIGURE 2. Mass as a function of time of the finger and nose mill.
 FIGURA 2. Masa en función del tiempo del molino de dedos y sufrideras.

Figure 3 shows the granulometric behavior of the femur and scapula bones, for the finger and nose mill after 67 days of free convection drying using 1, 2 and 4 mm sieves. It was observed that for the 1 mm and 2 mm sieves, the amount of mass was very low.

However, using the 4 mm sieve, it was observed that for the scapula bone the amount of mass that passed through the sieve was greater than the amount of the femur bone mass that passed through it.

Therefore, the scapula bone is better for sieving in this type of mill. Figure 3 shows the behavior of the initial mass as a function of the hammer mill time to determine the mass obtained after the grinding and drying process.

En la Figura 3 se muestra el comportamiento granulométrico del hueso de fémur y escápula, para el molino de dedos y sufrideras luego de 67 días de secado a convección libre usando tamices de 1, 2 y 4 mm. Se pudo observar que para los tamices de 1 mm y 2 mm, la cantidad de masa fue muy escasa.

Sin embargo para el hueso de fémur y el hueso de escápula, usando el tamiz de 4 mm se observó que para el hueso de escápula la cantidad de masa que pasó por el tamiz de 4 mm fue superior a la cantidad de masa que pasó de hueso de fémur. Por lo tanto el hueso de escápula es mejor para el tamizado en este tipo de molino.

En la Figura 3 se muestra el comportamiento de la masa inicial en función del tiempo del molino de martillo para determinar la masa obtenida luego del proceso de molido y secado.

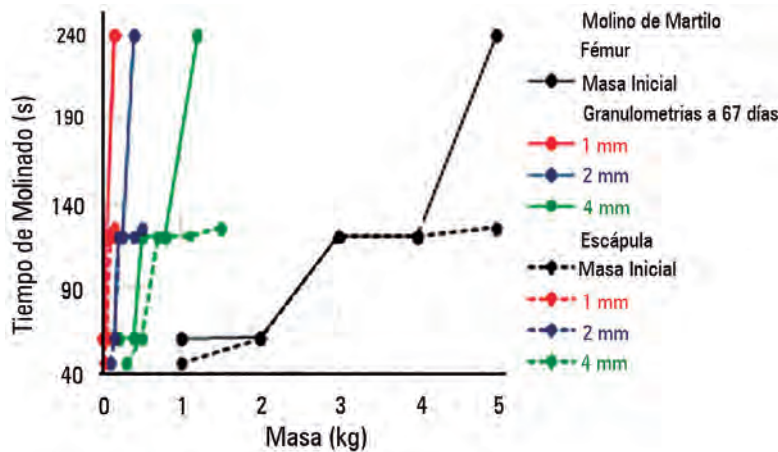


FIGURE 3. Initial mass as a function of hammer mill time (Table 4).
 FIGURA 3. Masa inicial en función del tiempo del molino de martillo (Tabla 4).

Figure 3 shows the granulometric behavior of the femur and scapula bone for the hammer mill after 67 days of free convection drying using 1, 2 and 4 mm sieves. It was observed that for the 1 and 2 mm sieves, the amount of mass obtained was very low.

Se observa en la Figura 3 el comportamiento granulométrico del hueso de fémur y escápula para el molino de martillo luego de 67 días de secado a convección libre usando tamices de 1, 2 y 4 mm. Se pudo observar que para los tamices de 1 y 2 mm, la cantidad de masa obtenida, fue muy escasa.

However, using the 4 mm sieve it was observed that for the scapula bone the amount of mass that passed through the 4 mm sieve was greater than the amount of mass of femur bone that passed through it. Therefore, the hammer mill also has a better response in crushing the scapula bone as a greater amount of final mass is obtained during sieving.

Considering the operational parameters of the mills (finger and nose and hammer mills), where both worked with a 4 kW motor, and according to Figures 2 and 3, it was observed that the hammer mill carried out the crushing process of the bones in less time and with a greater quantity of flour passed through the 4 mm sieve, the scapula bone being better.

Analysis of Operational Parameters Based on Energy Consumption

Table 5 establishes the operational parameters of the finger and nose mill and the hammer mill for determining energy consumption.

Sin embargo para el hueso de fémur y el hueso de escápula, usando el tamiz de 4 mm se observó que para el hueso de escápula la cantidad de masa que pasó por el tamiz de 4 mm fue superior a la cantidad de masa que pasó de hueso de fémur. Por lo tanto el molino de martillo también tiene mejor respuesta en la trituration del hueso de escápula al obtenerse mayor cantidad de masa final durante el tamizado.

Considerando los parámetros operacionales de los molinos (de dedos y sufrideras y de martillo), donde ambos trabajaron con un motor de 4 kW, y de acuerdo a las Figuras 2 y 3, se pudo observar que el molino de martillo realizó el proceso de trituration de los huesos en menor tiempo y con mayor cantidad de harina pasada por la criba de 4 mm, siendo mejor el hueso de escápula.

Análisis de los parámetros operacionales en función del consumo de energía

En la Tabla 5 se establecen los parámetros operacionales del molino de dedos y sufrideras y el molino de martillo para la determinación del consumo energético.

TABLE 5. Matrix of energy consumption parameters of the finger and nose mill and hammer mill
TABLA 5. Matriz de parámetros de consumo de energía del molino de dedos y sufrideras y molino de martillo

N° Tests	Bone	Parameters for finger and nose mill					Parameters for hammer mill				
		Milled mass (kg)	Intensity (A)			Rotation frequency [rpm]	Milled mass (kg)	Intensity (A)			[rpm]
			Line 1	Line 2	Line 3			Engine Center	Line 1	Line 2	
1	femur	750	14	16	15	1700	900	14.3	16	15	1775
2	Scapula	850	14.8	15.2	16.3	1796	800	13	15.4	14	1720
1	femur	1850	14.9	16.4	17	1700	1800	15	18	16	1782
2	Scapula	1750	14	16	15.9	1750	1700	14	16	15.9	1760
1	femur	2700	15.2	18	19.4	1720	2600	17.6	20.7	16	1749
2	Scapula	2600	18.4	19	21.2	1780	2550	16	21.8	19	1730
1	femur	3450	22.1	19.5	18	1740	3300	16.8	19.5	18	1780
2	Scapula	3650	15	18.5	22.2	1790	3700	15.3	17	16.4	1745
1	femur	4450	16.4	15.3	19.15	1760	4600	18.5	22.1	19	1765
2	Scapula	4500	16.8	17	19	1785	4400	16	17.4	14.2	1748

Source. The authors

Figure 4 shows the variation in intensity as a function of the mass processed for the finger and nose mill.

En la Figura 4 se observa la variación de la intensidad en función a la masa procesada para el molino de dedos y sufrideras.

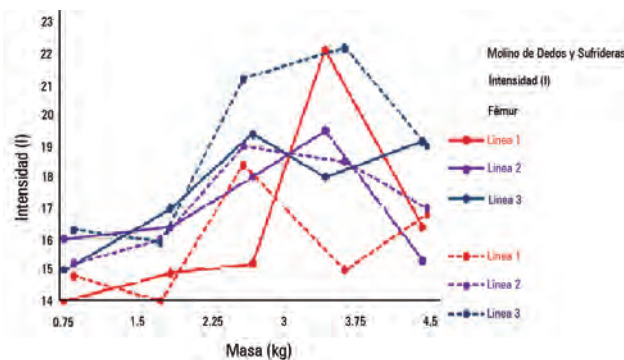


FIGURE 4. Graph of the final mass and intensity of the finger and nose mill (Table 5).
 FIGURA 4. Gráfico de la masa final y la intensidad del molino de dedos y sufrideras (Tabla 5).

It is observed in Figure 4 that for the finger and nose mill, the increase in intensity was reflected in line 1 and line 2, for the femur bone compared to the scapula bone. However, in line 3 the increase in intensity was present in the scapula bone compared to the femur bone, although this difference was not significant.

Figure 5 shows the variation of the intensity as a function of the mass processed for the hammer mill.

Se observa en la Figura 4 que para el molino de dedos y sufrideras, el incremento de la intensidad se reflejó en la línea 1 y la línea 2, para el hueso de fémur en comparación con el hueso de escápula. Sin embargo en la línea 3 el incremento de la intensidad se hizo presente en el hueso de escápula en comparación al hueso de fémur, aunque esta diferencia no resultó significativa.

En la Figura 5 se observa la variación de la intensidad en función a la masa procesada para el molino de martillo.

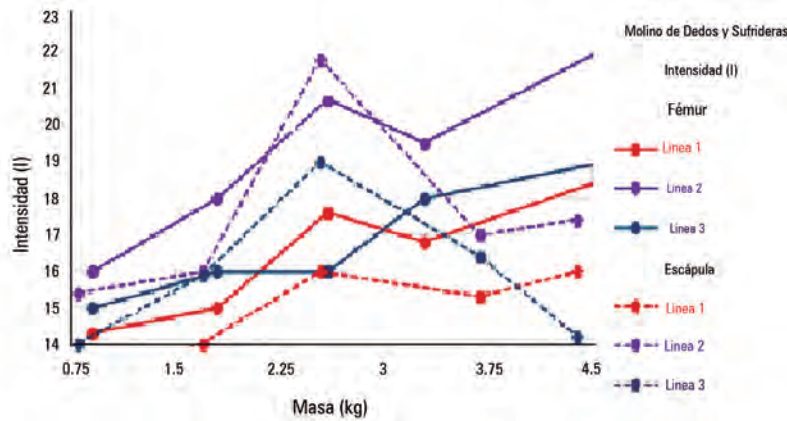


FIGURE 5. Mass as a function of intensity, hammer mill (Table 5)
 FIGURA 5. Masa en función de la intensidad, molino de martillo (Tabla 5)

It is observed in the graph of Figure 5 that for the hammer mill the increase in intensity for line 1 was present with the femur bone with respect to the scapula bone. However, for line 3, the increase in intensity was reflected in the femur bone, compared to the scapula bone.

The comparison of the electrical consumption was determined with the finger and nose mills and the hammer mill in work operations of grinding the bones of the femur and scapula, since the motor source consumed electrical energy in a triphasic way (three lines of current). The behavior of this parameter is shown in Figures 4 and 5, indicating consumption decrease or increase in the crushing process as a function of time. As a result, the finger and nose mill consumed more electrical energy according to the increase in intensity since the contact between the grinding organ and the material required more grinding time because it was slower, making the grinding process slower.

Results of the Determination of the Theoretical (qt) and Real (qr) Productivity and the Efficiency (e) of the Hammer Mill and the Finger and Nose Mill

Hammer mill: Having the characteristics of this mill and using the equation represented in Table 6, the theoretical productivity of the hammer mill was obtained.

Se observa en la gráfica de la Figura 5 que para el molino de martillo el incremento en la intensidad para la línea 1, se hizo presente con el hueso de fémur respecto al hueso de escápula. Sin embargo para la línea 3, el incremento de la intensidad se reflejó en el hueso de fémur, en comparación al hueso de escápula.

La comparación del consumo eléctrico se determinó con los molinos de dedos y sufrideras y el molino de martillo en operaciones de trabajo de molienda de huesos de fémur y escápula, ya que la fuente motriz consumió de forma trifásica (tres líneas de corriente), energía eléctrica considerándose la conducta de este parámetro en las Figuras 4 y 5, indicativo del consumo si disminuye o aumenta en este proceso de trituración en función del tiempo. Resultando que el molino de dedos y sufrideras consumió más energía eléctrica de acuerdo al aumento de la intensidad ya que el contacto entre el órgano triturador y la materia requirió más tiempo de molido debido a que tuvo menor rapidez haciendo el proceso de triturado más lento.

Resultados de la determinación de la productividad teórica (qt), real (qr) y eficiencia (e) del molino de martillo y el molino de dedos y sufrideras

Molino de martillo: Teniendo las características de este molino y usando la ecuación representada en la Tabla 6 se obtuvo la productividad teórica del molino de martillo.

TABLE 6. Theoretical productivity of the hammer mill
 TABLA 6. Productividad teórica del molino de martillo

k	Diameter, (m)	Length, (m)	ρ bone density, (kg/m ³)	n, (rpm)	qt, (kg/s)
(2.2·10 ⁻⁴)	0.293	0.095	1900	1790	0.092

From the data and the equation $qr = m/t$ (amount of mass processed during machine work/clean work time), the

A partir de los datos y la ecuación $qr = m/t$ (Cantidad de masa procesada durante el trabajo de la máquina/tiempo de

real productivity (qr) was obtained, resulting in 0.028 kg / s for hammer mill. Substituting in the equation $e = qr/qt$, the efficiency of the hammer mill was obtained, resulting in 0.30 (30%).

Finger and nose mill: Having the characteristics of this mill and using the equation in Table 6, the theoretical productivity of the finger and nose mill was obtained, represented in Table 7.

TABLE 7. Theoretical productivity of the finger and nose mill
TABLA 7. Productividad teórica del molino de dedos y sufrideras

k	D _s (m)	L _s (m)	ρ bone density (kg/m ³)	n, (rpm)	qt, (kg/s)
(2.2·10 ⁻⁴)	0.34	0.015	1900	1790	0.063

Using the same equation, the real productivity (qr) was obtained, resulting in 0.0076 kg/s, for the finger and nose mill. In the same way, the efficiency (e), of the finger and nose mill, was obtained, resulting in 0.12 (12%).

Determination of the Most Rational Variant of Bone Crushing Based on the Quality of the Crushing and Energy Consumption

Considering the operational parameters studied for finger and nose mill and hammer mill, when comparing the quality of crushing and their energy consumption, it was determined that the hammer mill has greater efficiency than the finger and nose mill (30% for the hammer mill and 12% for the finger and nose mills), in addition, the speed developed by the hammer mill during the milling process is higher than that of the finger and nose mills, which allows obtaining particles with a granulometry of the flour that meets the zootechnical requirement of pig feed. In reference to energy consumption, the finger and nose mill had higher consumption according to the increase in the intensity of the current, since the contact between the grinding organ and the material to be processed required more time in the grinding work, because it makes the crushing process slower and less efficient, due to its slower crushing speed.

CONCLUSIONS

- In determining the physical-mechanical properties, it was observed that the scapula bone has greater hardness than that of the femur, so it requires greater effort during the grinding process, with the hammer mill behaving with better destructive capacity than the finger and nose mill.
- The highest energy consumption was observed with the finger and nose mill, caused by the contact between the crushing organ and the processed bones, requiring a longer time in the grinding process, being less efficient and slower than the hammer mill.
- The actual productivity of the hammer mill was higher than that of the finger and nose mill during the process of grinding of the scapula and femur bones, so to obtain bone meal the hammer mill was more efficient with a 30%.

trabajo limpio), se obtuvo la productividad real (qr) dando como resultado 0,028 kg/s para molino de martillo. Sustituyendo en la ecuación $e = qr/qt$, se obtuvo la eficiencia del molino de martillo dando como resultado 0,30 (30%).

Molino de dedos y sufrideras: Teniendo las características de este molino y usando la ecuación de la Tabla 6 se obtuvo la productividad teórica del molino de dedos y sufrideras, representada en la Tabla 7.

Usando la misma ecuación se obtuvo la productividad real (qr) dando como resultado 0,0076 kg/s, para el molino de dedos y sufrideras. De igual modo, se obtuvo la eficiencia (e), de molino de dedos y sufrideras dando como resultado 0,12 (12%).

Determinación de la variante más racional del triturado de huesos en base a la calidad del triturado y el consumo de energía

Considerando los parámetros operacionales estudiados (molino de dedos y sufrideras y molino de martillo), al comparar la calidad de triturado y consumo energético de los mismos, se determinó que el molino de martillo tiene mayor eficiencia que el molino de dedos y sufrideras (30% para el molino de martillo y 12% el de dedos y sufrideras), además la velocidad desarrollada por el molino de martillo durante el proceso de molinado es superior que el de dedos y sufrideras, lo cual permite la obtención de partículas con una granulometría de la harina que cumple con la exigencia zootécnica de los alimentos para cerdos. Ahora, con respecto al consumo energético, el molino de dedos y sufrideras tuvo mayor consumo de acuerdo al aumento de la intensidad de la corriente, ya que el contacto entre el órgano triturador y la materia a procesar requirió en la labor de molido más tiempo, debido a que hace el proceso de triturado más lento y menos eficiente, por tener menor rapidez de triturado.

CONCLUSIONES

- En la determinación de las propiedades físico- mecánicas se observó que el hueso de escápula presenta mayor dureza que el de fémur por lo que necesita de mayor esfuerzo durante el proceso de molinado, comportándose el molino de martillo con mejor capacidad destructiva que el de dedos y sufrideras.
- El mayor consumo energético se observó con el molino de dedos y sufrideras causado por el contacto entre el órgano triturador y los huesos procesados, requiriendo un mayor tiempo en el proceso de molido, siendo este menos eficiente y más lento que el molino de martillos.
- La productividad real del molino de martillo resultó superior a la del molino de dedos y sufrideras durante el proceso de molienda de los huesos de escápula y fémur, por lo que para la obtención de harina de hueso resultó más eficiente el molino de martillo con un 30%.

- The quality of the flour obtained from the zootechnical requirement established for feeding pigs with concentrated feed, better results were obtained with the hammer mill.
- La calidad de la harina obtenida a partir de la exigencia zootécnica establecida para la alimentación de cerdos con alimentos concentrados obtuvo mejores resultados con el molino de martillos.

REFERENCES

- BPFA-ICA: *Buenas prácticas en la fabricación de alimentos para animales en Colombia*, Instituto Colombiano Agropecuario, Grupo de Regulación Y Control de Alimentos para Animales, Bogotá D.C., Colombia, 2020.
- BUITRAGO, G.V.; LÓPEZ, A.P.; CORONADO, A.P.; OSORNO, F.L.: "Determination of physical characteristics and mechanical properties of potatoes cultivated in Columbia", *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, ISSN-1415-4366, 8(1): 102-110, 2004.
- CAMPABADAL, C.: *Guía técnica para alimentación de cerdos*, 46pp., San José, Costa Rica, 2009.
- CAREETA, R.: "Novel method to analyze post-yield mechanical properties at trabecular bone tissue level", *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 20(13), 2013.
- CASTILLO, D.L.J.: *Proyecto de factibilidad de la instalación de una planta procesadora de grasa animal y harina de carne y hueso para grupo El Tunal*, Universidad Centro Occidental, Barquisimeto, Venezuela, 2011.
- CHIRINO, L.: *Proyecto de complejo mecanizado para la ceba de 45 mil cerdos en base a residuos alimenticios y diseño de una trituradora de martillos*, Tesis (en opción al título de Ingeniero), Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana (ISCAH), San José de las Lajas, Habana, Cuba, 1980.
- COVENIN 1882-83: 83: *Alimento Complemento para Cerdos*, Normas venezolanas, Caracas, Venezuela, 1983.
- FAO E IFIF: *Buenas prácticas para la industria de piensos—Implementación del Código de Prácticas Sobre Buena Alimentación Animal*, Ed. FAO, Roma. Italia, 2016.
- HAMILTON, R.; KIRSTEIN, D.: *Harina de carne y hueso. Una fuente valiosa de nutrientes en las dietas de animales y aves de corral*, Compañía de Litografía Kirbi, USA, 1996.
- IGLESIAS, C.C.E.; SOTO, W.: *Mecanización de los Procesos Pecuarios*, Ed. Departamento de Ediciones del ISCAH, ENPES, San José de las Lajas, Habana, Cuba, 1987.
- KEENE, B.; KNOWLTON, K.; WILSON, J.; MCGILLIARD, M.; HOLTAWAY, C.: "Bone breaking strength in mature dairy cows", *Transactions of the ASAE*, ISSN-2151-0032, e-ISSN: 2151-0040, 48(4): 1637-1643, 2005.
- MARTÍNEZ, C.: *Datos del molino de martillo para el análisis experimental*, Universidad Central de las Villas (UCLV), Santa Clara, Villa Clara, Cuba, 2007.
- MARTÍNEZ, C.: *Libro de Instalaciones Agropecuarias*, Ed. UCLV, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, 2011.
- MARTÍNEZ, J.: *Diseño y Construcción de un prototipo de trituradora de desperdicios domésticos orgánicos*, Tesis (en opción al título de Máster en Ciencias), Instituto Politécnico Nacional, México, 2009.
- PANEQUE, R.P.: *Transportadores en la Agricultura*, Ed. Departamento de Ediciones del ISCAH, ENPES, primera ed., pp. 276, San José de las Lajas, Habana, Cuba, 1988.
- PANEQUE, R.P.; LÓPEZ, G.; MAYANS, P.; MUÑOZ, F.; GAYTÁN, J.G.; ROMANTCHIK, E.: *Fundamentos Teóricos y Análisis de Máquinas Agrícolas*, Ed. Universidad Autónoma Chapingo, primera edición ed., vol. 1, pp. 456, ISBN-978-607-12-0532-2, Chapingo, Texcoco, México, 2018.
- PARRA, M.; PORTILLA, D.: *Estudio de las Propiedades mecánicas del sistema Óseo*, Tesis (en opción al título de Ingeniero), Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Bogotá, Colombia, 1987.
- RAMOS, C.N.F.: *Aprovechamiento del desecho de huesos de res para la obtención de harina de hueso en la fábrica Federer*, Tesis (en opción al título de Ingeniero), Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2010.
- URIBE, F.; ZULUAGA, A.F.; RODONI, L.M.; ANDERSON, E.; OCHOA, L.M.: *Buenas prácticas ganaderas*, Ed. Gef, Banco Mundial, Fedegán, Cipav, Fondo Accion, TNC, ISBN-958-8498-36-8, 2011.
- WALPOLE, R.E.; MYERS, R.H.; MYERS, S.L.: *Probabilidad y estadística para ingenieros*, Ed. Pearson educación, ISBN-970-17-0264-6, México D.F., 1999.
- WALPOLE, R.E.; TEVES DE ALMEIDA, R.H.; MYERS, S.L.; YE, K.: *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*, Ed. Pearson educación, vol. 162, México D.F., 2012.

Irania Quevedo-Herrero, Profesora Auxiliar, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: iraniaq@unah.edu.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-0027-6042>

Pablo M. Hernández-Alfonso, Profesor Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: phernand@unah.edu.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9343-6919>

Cristhian José Carico, Profesor, Universidad Politécnica Tecnológica "José Antonio Anzoátegui"(UPTJAA), El Tigre, Anzoátegui, Venezuela, e-mail: cristhianjose@gmail.com ORCID iD:

Vilma Toledo-Diepa, Profesora Auxiliar, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: vilma@unah.edu.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7428-4283>

Jorge García-Coronado, Profesor Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: jgarcia@unah.edu.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2936-2139>

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

Este artículo se encuentra sujeto a la Licencia de Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC 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.