



## Quality of Chopped and Ground Sweet Potato during the Production of Silage Feed for Pigs

### *Calidad del boniato troceado y molinado durante la producción de alimento ensilado para cerdos*

Dr.C. Arelys Vázquez-Peña<sup>II</sup>, Dr.C. Antihus Hernández-Gómez<sup>II</sup>, Dr.C. Magalis Herrera-Villafranca<sup>I</sup>,  
Dr.C Pedro Valdés-Hernández<sup>II</sup>,

<sup>I</sup>Instituto de Ciencia Animal, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

<sup>II</sup>Universidad Agraria de la Habana, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

**ABSTRACT.** The size of the particles is one of the properties that have more influence in the quality of food for monogastric animals. The present work was carried out with the objective of evaluating the quality of the chopped and ground sweet potato during the production of silage feed for pigs in the plant “Héctor Molina”, and to check if both characteristics fulfill the demands of the particle size recommended for this kind of food. To demonstrate if the particle size that is obtained coincides to that proposed for the chopping machine ( $40 \pm 7$  mm) and for the hammer mill ( $4 \pm 2$  mm), the sweet potato is characterized physical and mechanically and two experiments are designed that use sweet potato samples of the same lot and in different schedules. The fractional sweet potato is measured with a vernier caliper and a sieve disperser-shaker is used for the finely milled one. A totally randomized design was utilized and Duncan Test for  $P < 0,05$  was applied in the necessary cases. For the analysis of the data, the statistical package Infostat version 2012 was used. It was determined that the sweet potato presents physical-mechanical characteristics in correspondence with the agroindustrial process and that the quality of the chopped and the ground sweet potato, respond to the proposed technology. It was also proved that the average value of the particle size was of 36,06 mm for the chopper apparatus and that 100% of the total mass of sweet potato fulfills the proposed particle size ( $4 \pm 2$  mm).

**Keywords:** Quality, Hammers Mill, Chopper Machine.

**RESUMEN.** La talla de las partículas es una de las propiedades que más influyen en la calidad de los alimentos para animales monogástricos. El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la calidad del boniato troceado y molinado durante la producción de alimento ensilado para cerdos en la planta “Héctor Molina”, y comprobar si ambos cumplen con las exigencias del tamaño de partícula recomendado para este tipo de alimento. Para demostrar si el tamaño de partícula que se obtiene, se corresponde con lo propuesto ( $40 \pm 7$  mm) para la máquina troceadora y ( $4 \pm 2$  mm) para el molino de martillo, se caracteriza física y mecánicamente el boniato y se diseñan dos experimentos que utilizan muestras (boniato) de un mismo lote y en diferentes horarios. El boniato fraccionado se mide con un pie de rey y el finamente molido utiliza un tamiz dispersador-sacudidor. Se aplicó un diseño completamente aleatorizado y dócima de Duncan para  $P < 0,05$  en los casos necesarios y para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico Infostat versión 2012. Se determinó que el boniato presenta características físico-mecánicas en correspondencia con el proceso agroindustrial y que la calidad del troceado y el molinado responden a la tecnología propuesta, comprobándose que el valor promedio del tamaño de partícula fue de 36,06 mm para el aparato troceador y que el 100% de la masa total de boniato cumple con el tamaño de partícula propuesto ( $4 \pm 2$  mm).

**Palabras clave:** calidad, molino de martillos, máquina troceadora.

<sup>I</sup>Author for correspondence: Yaimi Barcenás Mompeller, e-mail: yaimi@unah.edu.cu

Received: 10/12/2019.

Approved: 25/09/2020.

## INTRODUCTION

Feeding represents between 60 and 70% of the total cost of the porcine production systems, while the fattening (of 25 to 100 kg of weight live) consumes, approximately, 70% of the foods of the flock. Because of that, great importance is conceded to the rational and efficient use of the foods, since this aspect decides the general efficiency and the economy of these productive systems together with an appropriate flock management (Mederos *et al.*, 2014). Different types of nutrients compose the nutritious portions. They will be properly balanced to guarantee satisfactory growth, good reproductive yield, adequate immunologic condition and acceptable well-being. Energy sources represent the biggest proportion (60-80%) of the diet and they contribute the necessary energy to the animals. A great diversity of this type of foods exists. Sweet potato, cassava and banana are part of it.

Agroindustrial technologies developed in Cuba to transform raw material and to produce alternative foods for swine breeding are not based on soybean and corn. Industrial Saccharine, finished liquid fodder (PLT), protein honey, silage of fish, silage of vegetables and the creole fodder are diverse. The agroindustry to produce Cuban Silage Food (CSF), starting from the mixture of thermalized *Saccharomyces cerevisiae* yeast cream, honey B of the sugarcane, concentrated vinasse and sweet potato (*Ipomoea batata* (L.) Lam.), it is composed by the areas of weighting, reception and storage of raw materials, transportation and milling, mixing, silage and dispatch (Vázquez, 2019). Among the main approaches that intervene in the selection of the equipment that compose each of them are the characteristics of the technological process, the activities carried out, the production capacity, the work conditions, the levels of noise and allowed vibration and the energy consumption (Sablikov, 1978; González, 1993; Soto, 2000; Polanco, 2007; Ortiz *et al.*, 2011; Olivet *et al.*, 2012; Stout, 2012; Paneque *et al.*, 2018). All these approaches to obtain maximum security, technical-economic efficiency, warranty of the work for the environmental conditions of the place and the mechanization of the process (Paneque, 1988; Pahl *et al.*, 2005).

For the selection of the equipment that participate in the milling process, the aspects before mentioned are taken into account, as well as the productivity of the machines, the dosage form, the chemical and physical-mechanical characteristics of the sweet potato, the particle size to obtain, milling type (humid or dry) and the dimensions and cleaning of the proposals (Iglesias and Soto, 1987; Pahl *et al.*, 2005; Paneque *et al.*, 2018).

The size of the particle is an important factor in the quality of the finished product, the fabricators of foods for animal consumption should consider the relationship between it and the form of the food. The chopper machines are very useful, when the raw materials to process are heterogeneous and its appropriate selection is important to assure the wanted size (Valdés, 2008; Valdés *et al.*, 2010, 2012). The mills are used to mill vegetable mass and agricultural products and they are considered one of the most important equipment in the agroindustrial processes

## INTRODUCCIÓN

La alimentación representa entre 60 y 70% del costo total de los sistemas de producción porcina, mientras que la ceba (de 25 a 100 kg de peso vivo) consume, aproximadamente, 70% de los alimentos del rebaño. Es por eso que se le concede gran importancia al uso racional y eficiente de los alimentos, puesto que este aspecto decide la eficiencia general y la economía de estos sistemas productivos de conjunto con un manejo apropiado (Mederos *et al.*, 2014). Las raciones alimenticias están compuestas por diferentes tipos de nutrientes, los que deberán estar debidamente balanceados para que se garantice un adecuado crecimiento del cerdo, así como un buen rendimiento reproductivo, estatus inmunológico y bienestar. Las fuentes energéticas representan la mayor proporción (60-80%) de la dieta y aportan la energía necesaria a los animales. Existe una gran diversidad de alimentos de este tipo, las viandas (boniato, yuca y plátano) forman parte de estos.

Son diversas las tecnologías agroindustriales desarrolladas en Cuba para transformar las materias primas y producir alimentos alternativos (la base fundamental no es soya y maíz) para la crianza porcina, entre ellas se destacan la Saccharina industrial, los piensos líquidos terminados (PLT), la miel proteica, los ensilajes de pescado, de viandas y los piensos criollos. La agroindustria para producir alimento ensilado cubano (AEC), a partir de la mezcla de crema de levadura *Saccharomyces cerevisiae* termolizada, miel B de la caña de azúcar, vinaza concentrada y boniato (*Ipomoea batata* (L.) Lam.), está compuesta por las áreas de: pesaje, recepción y almacenamiento de materias primas, transportación y molinaje, mezclado, ensilaje y despacho (Vázquez, 2019). Entre los principales criterios que intervienen en la selección de los equipos que componen cada una de ellas, están: las características del proceso tecnológico, las actividades que realizan, la capacidad de producción, las condiciones de trabajo, los niveles de ruido y vibración permitidos y el consumo de energía (Sablikov, 1978; González, 1993; Soto, 2000; Polanco, 2007; Ortiz *et al.*, 2011; Olivet *et al.*, 2012; Stout, 2012; Paneque *et al.*, 2018). Todos estos criterios para obtener máxima seguridad, eficiencia técnica-económica, garantía del trabajo para las condiciones ambientales del lugar y la mecanización del proceso (Paneque, 1988; Pahl *et al.*, 2005).

Para la selección de los equipos que participan en el proceso de molinaje, se tiene en cuenta los aspectos antes citados, al igual que la productividad de las máquinas, la forma de dosificación, las características química y física-mecánicas del boniato, el tamaño de partícula a obtener, tipo de molienda (húmeda o seca) y las dimensiones y limpieza de las propuestas (Iglesias y Soto, 1987; Pahl *et al.*, 2005; Paneque *et al.*, 2018).

El tamaño de la partícula es un factor importante en la calidad del producto terminado, los fabricantes de alimentos para consumo animal deben considerar la relación entre el mismo y la forma del alimento. Las máquinas troceadoras son muy útiles, cuando las materias primas a procesar son heterogéneas y resulta importante la selección adecuada de la misma para asegurar el tamaño deseado (Valdés, 2008; Valdés *et al.*, 2010, 2012). Los molinos se emplean para moler masa vegetal y productos agrícolas y se consideran uno de los equipos más

for the elaboration of foods balanced for the animal production, (Iglesias and Soto, 1987b; Valdés, 2008; Paneque *et al.*, 2018).

The present work was carried out with the objective of evaluating the quality of the chopped and ground sweet potato during the production of silage feed for pigs in the plant “Héctor Molina”, and to check if both fulfill the demands of the particle size recommended for this food type.

## METHODS

### Determination of the Main Physical-Mechanical Properties of the Sweet Potato

To determine the physical-mechanical properties of the sweet potato (size measuring: length and perimeter, mass, resistance to the penetration and rolling angle) and for visual exam, 30 samples taken at random from 5 different lots were used. The measurements were carried out in the area of Engineering in the Institute of Animal Science (ICA), to an average temperature of 23, 9°C, atmospheric pressure of 100,72 kPa, relative humidity of 73,8% and a MS of 27% in the different sweet potato lots.

The size was determined by means of the methodology described by García & Pacheco (2008) and Palomino *et al.* (2010) and for this a measuring-tape of glass fiber, Stanley type of 3 m long, with 0,1 mm of precision and vernier caliper (range 0-350 mm) with 0,05 mm of precision were used.

The resistance to the penetration was determined by means of the methodology described by García & Pacheco (2008) and a Penetrometer Wagner Instruments, model FT-40, with ±1 of precision was used with a stainless steel beveled cutting needle resistant to the corrosion, and a 6 mm tip. The measurements were made in three points of the lateral face, as close to the equatorial area as possible and 120° distant one from another, with presence of the periderm (Castro *et al.*, 2007), for a total of 90 measurements. The resistance to the penetration was determined (N/mm<sup>2</sup>), according to methodology used by García & Pacheco (2008).

The rolling angle was determined with an inclined plane, Scala brand and 0,05° of precision that allowed with a graduate scale from 0 to 90°, carrying out the reading of the inclination angle of the surface when the sweet potato begins to rotate.

Under the conditions before described, the volumetric mass (t/m<sup>3</sup>), the density of the material (g/cm<sup>3</sup>) and the efficiency of the filling were determined. For that, sweet potatoes of the studied variety (INIVIT B-98-3), of three different lots were used and three repetitions were made for each of the determinations.

To determine the volumetric mass of the sweet potato, the methodology used by Valdés (2003) was followed and for that 500 kg of sweet potato were selected. A digital scale of platform (GADGETS) with maximum capacity of 500 kg, 100 g of precision and a cylindrical recipient of galvanized sheet N° 14 of 0,5 m<sup>3</sup> was used. The sweet potatoes that fitted in the recipient were weighted with the scale and to the results of the experiment the volumetric mass of the sweet potato was determined by the following expression:

$$\gamma = \frac{Q}{V}$$

importantes en los procesos agroindustriales para la elaboración de alimentos balanceados para la producción animal, (Iglesias y Soto, 1987b; Valdés, 2008; Paneque *et al.*, 2018).

El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la calidad del boniato troceado y molinado durante la producción de alimento ensilado para cerdos en la planta “Héctor Molina”, y comprobar si ambos cumplen con las exigencias del tamaño de partícula recomendado para este tipo de alimento.

## MÉTODOS

### Determinación de las principales propiedades física-mecánicas del boniato

Para determinar las propiedades físico-mecánicas del boniato (talla: largo y perímetro, masa, resistencia a la penetración y ángulo de rodadura) y examen visual, se utilizan para el estudio 30 muestras y se toman al azar de 5 lotes diferentes. Las mediciones se realizan en el área de Ingeniería del ICA, a una temperatura promedio de 23, 9°C, presión atmosférica de 100,72 kPa, humedad relativa de 73,8% y una MS del 27% en los diferentes lotes de boniato.

La talla se determina mediante la metodología descrita por García y Pacheco (2008); Palomino *et al.* (2010) y para esto se utiliza cinta métrica de fibra de vidrio, marca Stanley de 3 m de largo con precisión 0,1 mm y pie de rey (rango 0-350 mm) con precisión 0,05 mm.

La resistencia a la penetración se determina mediante la metodología descrita por García y Pacheco (2008) y se utiliza un Penetrómetro Wagner Instruments, modelo FT-40, precisión ±1, con una aguja de corte biselada y punta de 6 mm de acero inoxidable resistente a la corrosión. Las mediciones se efectúan en tres puntos de la cara lateral, lo más cerca posible de la zona ecuatorial y a 120° unos de otro, con presencia de la peridermis Castro *et al.* (2007), para un total de 90 mediciones. La resistencia a la penetración se determina (N/mm<sup>2</sup>), según metodología utilizada por García y Pacheco (2008).

El ángulo de rodadura se determina con un plano inclinado, marca Scala y precisión 0,05°, que permite con escala graduada de 0 a 90°, realizar la lectura del ángulo de inclinación de la superficie cuando el boniato comienza a rodar.

Bajo las condiciones antes descritas se determinan la masa volumétrica (t/m<sup>3</sup>), la densidad del material (g/cm<sup>3</sup>) y la eficiencia de llenado. Para esto se utilizan boniatos de la variedad estudiada (INIVIT B-98-3), de tres lotes diferentes y se efectúan tres repeticiones para cada una de las determinaciones.

Para determinar la masa volumétrica del boniato se sigue la metodología utilizada por Valdés (2003) y para ello se seleccionan 500 kg de boniato. Se utiliza una báscula digital de plataforma (GADGETS) con capacidad máxima de 500 kg y precisión 100 g y un recipiente cilíndrico de lámina galvanizada N° 14 de 0,5 m<sup>3</sup>, a los boniatos que caben en el recipiente se les mide su masa con la báscula y a los resultados del experimento se les determina la masa volumétrica del boniato por la siguiente expresión:

$$\gamma = \frac{Q}{V}$$

where:

- $\gamma$  - Volumetric mass,  $t/m^3$ ;
- Q - mass of the sample, t;
- V - volume occupied by the sweet potato in the recipient, (0,5  $m^3$ ).

The density of the sweet potatoes was determined according to the methodology described by Iglesias and Soto (1987), to do that, 1 kg of sweet potato was selected, determining its mass with a technical scale Scout Pro of accuracy 0,01 g. The sweet potatoes were cut in segments, which were submerged in a graduate test tube of 1 L, with 1  $cm^3$  of accuracy.

With the difference of the volume of water ( $\Delta V_b$ ) displaced by each sweet potato segment it was determined for each test the density by means of the expression:

$$\rho_b = \frac{m_{sb}}{\Delta V_b}$$

where:

- $\rho_b$  – density of the sweet potato segment,  $g/cm^3$ ;
- $m_{sb}$  - mass of the sweet potato segment, g;
- $\Delta V_b$  – volume of the sweet potato segment,  $cm^3$ .

The efficiency of filling ( $\beta$ ) is determined according to the methodology described by Paneque (1988), using the following equation:

$$\beta = \frac{h_2}{h}$$

It started from knowing the dimensions of the receiving hopper of sweet potato (Figure 1), the distribution of the sweet potatoes in it, the angle of inclination of the transporter mat of splints with lateral borders ( $20^\circ$ ) and the correction factor ( $C1 = 0,95$ ).

donde:

- $\gamma$  - masa volumétrica,  $t/m^3$ ;
- Q - masa de la muestra, t;
- V - volumen ocupado por el boniato en el recipiente, (0,5  $m^3$ ).

La densidad de los boniatos se determina según metodología descrita por Iglesias y Soto (1987), para efectuar la misma se selecciona 1 kg de boniato, determinando su masa con una balanza técnica Scout Pro de precisión 0,01 g. Los boniatos se cortan en segmento, los cuales son sumergidos en una probeta graduada de 1 L, con 1  $cm^3$  de precisión.

Con la diferencia del volumen de agua ( $\Delta V_b$ ) desplazado por cada segmento de boniato se determina para cada ensayo la densidad mediante la expresión:

$$\rho_b = \frac{m_{sb}}{\Delta V_b}$$

donde:

- $\rho_b$  – densidad de los segmentos de boniato,  $g/cm^3$ ;
- $m_{sb}$  – masa del segmento de boniato, g;
- $\Delta V_b$  – volumen del segmento de boniato,  $cm^3$ .

La eficiencia de llenado ( $\beta$ ) se determina según metodología descrita por Paneque (1988), utilizando la ecuación siguiente:

$$\beta = \frac{h_2}{h}$$

A partir de conocer las dimensiones de la tolva receptora de boniato (Figura 1), la distribución del boniato en ella, el ángulo de inclinación de la estera transportadora de tablillas con bordes laterales ( $20^\circ$ ) y el factor de corrección ( $C1 = 0,95$ ).

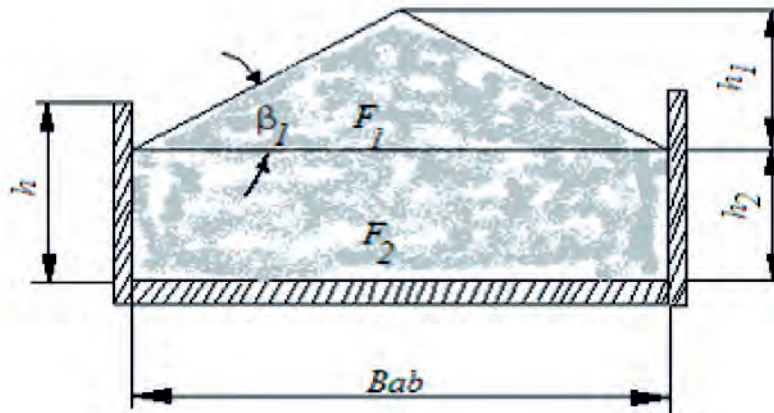


FIGURE 1. Simplified representation of transporter of splints with lateral borders.  
 FIGURA 1. Representación simplificada de transportador de tablillas con bordes laterales.

To determine the bank angle ( $\varphi$ ) an experiment with the conditions described before was carried out, according to the methodology described by Paneque (1988). Six samples of sweet potato (INIVIT B-98-3) of 15 kg each from two different lots were taken. They were let fall freely on a horizontal plane, the space was defined to a width ( $b = 0,56$  m) that was 0,8 times the width of the rubber band ( $B_p$ ). The area was simulated the most real possible because the rubber band goes on plane rollers. The height was measured with a millimeter rule and the information (H) was picked up in chart. The dispersion and

Para determinar el ángulo de talud ( $\varphi$ ) se realiza un experimento bajo las condiciones antes descrita, según metodología descrita por Paneque (1988). Se toman 6 muestras (15 kg cada una) de boniato (INIVIT B-98-3) de dos lotes diferentes. El mismo se deja caer libremente sobre un plano horizontal, el espacio se delimita a un ancho ( $b = 0,56$  m), que es 0,8 veces el ancho de la banda de goma ( $B_p$ ). El área queda simulada lo más real posible porque la banda de goma va sobre rodillos planos. La altura se mide con regla milimetrada y la información (H) se recoge en tabla. A los datos se les determinan los estadígrafos de

position statistics were determined to data with the statistical package Infostat version 2012 (Di Rienzo *et al.*, 2012).

### Determination of Quality of Chopping and Grinding Processes

The chopper machine proposed to achieve the chopped sweet potato ( $40 \pm 7$  mm) has two organs of work, type drum that move to an angular speed of  $36,6 \text{ rad s}^{-1}$ , each one with two sets of interchangeable blades (650 mm long and 100 mm of diameter) and screwed at  $90^\circ$  (Figure 2). It presents a productivity of 10t/h, with electric motor of 22 kW and a rotation frequency of 900 rpm.

dispersión y posición con el paquete estadístico Infostat versión 2012 (Di Rienzo *et al.*, 2012).

### Determinación de la calidad del troceado y molinado

La máquina troceadora propuesta para lograr el boniato troceado ( $40 \pm 7$  mm) tiene dos órganos de trabajo tipo tambor que se mueven a una velocidad angular de  $36,6 \text{ rad s}^{-1}$ , cada uno con dos juegos de cuchillas intercambiables (650 mm de largo y diámetro 100 mm) y atornilladas a  $90^\circ$  (Figura 2). Presenta una productividad es de 10 t/h, con motor eléctrico de 22 kW y una frecuencia de rotación de 900 rpm.

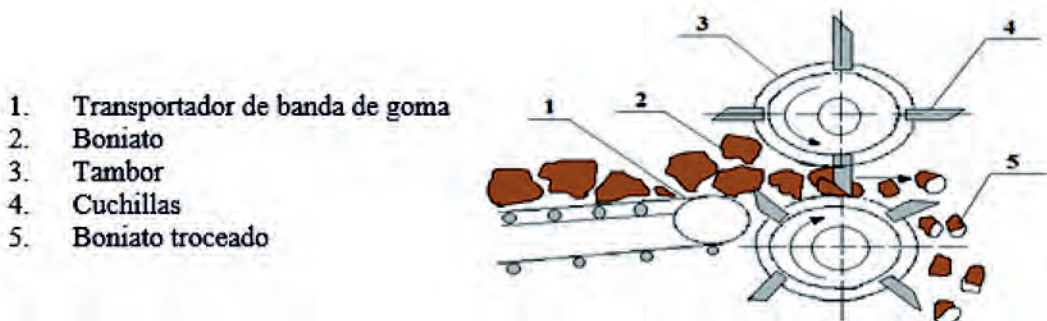


FIGURE 2. Simplified diagram of chopper machine fed from transporter of rubber band.  
 FIGURA 2. Esquema simplificado de máquina troceadora alimentada desde transportador de banda de goma.

The mill of hammers recommended to achieve the particle size ( $4 \pm 2$  mm) and to guarantee the established production levels, works to an angular speed of  $182,8 \text{ rad s}^{-1}$ , it presents hammers with edges in the ends and in both faces, with possibility of inverting and changing them, what allows milling sticky material (Paneque *et al.*, 2018). This mill (Figure 3) with supports and interchangeable sieve is of easy cleaning. It works with an electric motor with a power of 45 kW, frequency of rotation of 1 800 rpm and it is fed by free fall from the chopper machine.

El molino de martillos recomendado para lograr el tamaño de partícula ( $4 \pm 2$  mm) y garantizar los niveles de producción establecidos, trabaja a una velocidad angular de  $182,8 \text{ rad s}^{-1}$ , presenta martillos con filos en los extremos y en ambas caras, con posibilidad de invertirlos y cambiarlos, lo que permite moler material pegajoso (Paneque *et al.*, 2018). Este molino (Figura 3) con sufrideras y criba intercambiable es de fácil limpieza. Trabaja con un motor eléctrico de potencia 45 kW, frecuencia de rotación de 1 800 rpm y es alimentado por caída libre desde la máquina troceadora.

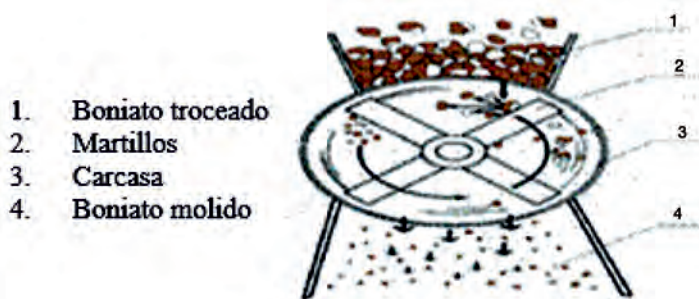


FIGURE 3. Simplified diagram of mill of hammers.  
 FIGURA 3. Esquema simplificado de molino de martillos.

To check if the particle size that is obtained in the agroindustry corresponds to that proposed for the chopper machine and the hammer mill, two experiments were designed that were developed in the laboratory of the production plant of SF of Héctor Molina Riaño in Mayabeque, where the conditions and necessary means for this end were created. They were: an average atmospheric temperature of  $23,9^\circ\text{C}$ , an atmospheric

Para comprobar si el tamaño de partícula que se obtiene en la agroindustria se corresponde con lo propuesto para la máquina troceadora y el molino de martillo, se diseñan dos experimentos, que se desarrollaron en el laboratorio de la planta de producción de AE del “Héctor Molina Riaño” de Mayabeque, creándose las condiciones y medios necesarios para este fin. Bajo una temperatura atmosférica promedio de  $23,9^\circ\text{C}$ ; una presión

pressure of 100, 72 kPa, relative humidity of 73, 8% and a percentage of MS in the samples of 27%.

To analyze the particle size, a study was carried out with the following characteristics: Sweet potato of the variety INIVIT B-98-3, of a same lot was used and samples were taken at different times (8:00, 11:00, 13:00, 15:00 and 17:00), to check if there were variations on the chopped particles' size according to the time.

The mass of the samples (2,2 kg) was determined because the sweet potato is 40% of the composition of the SF and the pig consumes an average of 5,5 kg of it. The sample to process, to be representative, has to be equivalent to the sweet potato that is inside the SF and that should be consumed by the pig in one day. The mass of the samples was obtained with a technical scale Scout Pro, with  $\pm 0,1$  g of precision and range up to 5 000 g.

To check if there were significant differences in the sizes of particles in the schedules, a totally randomized design was used and a Duncan Test was applied for  $P < 0,05$  in the necessary cases. For the analysis of the data, the statistical package Infostat version 2012 was used (Di Rienzo *et al.*, 2012).

### Experiment N° 1. Determination of the size of the fractional sweet potato that was obtained with the chopper machine with organ of work type drum and blades

The determination consisted on measuring with vernier caliper of range 0-250 mm and accuracy 0,05 mm, all the fractions of sweet potato of five samples (of 2,2 kg each one) from the same lot, in the previously established schedules. The sweet potato fractioned by the chopper of blades was always measured by the biggest of its sides.

### Experiment N° 2. Determination of the particle size that was obtained with the hammer mill

The content of humidity in dry base before the sieving was determined by the expression that appears next. For that, the samples obtained in the laboratory of the agroindustry were dried at 60°C for 24 hours, by using a thermostatic stove Boxun: RT:  $250 \pm 5^\circ\text{C}$ , accuracy of  $0,1^\circ\text{C}$ .

$$CH = \left( \frac{H_i - H_f}{H_f} \right) \cdot 100$$

where:

CH - content of humidity in dry base, %;

$H_i$  - humid initial mass, kg;

$H_f$  - final dry mass, kg.

For this experiment a sieve disperser -shaker of interchangeable mesh, Clarke brand was used. Five samples of 2,2 kg were selected (to be the sweet potato 40% of the portion of the SCF that consumes a pig in the day) each one from the same sweet potato lot and in the schedules proposed to guarantee similar conditions of humidity, the samples were weighed in a technical scale Scout Pro accurately of  $\pm 0,1$  g and range up to 5 000 g. The methodology described by Valdés (2008) was used.

atmosférica de 100,72 kPa; humedad relativa del 73,8% y un porcentaje de MS en las muestras del 27%.

Para analizar el tamaño de partícula, se realizó un estudio con las siguientes características: Se utilizó boniato de la variedad INIVIT B-98-3, de un mismo lote y se tomó muestras de diferentes horarios (8:00, 11:00, 13:00, 15:00 y 17:00), para comprobar si existía variación del tamaño de las partículas troceadas en diferentes horarios del día.

La masa de las muestras (2,2 kg) se determina porque el boniato es el 40% de la composición del AE y el cerdo consume como promedio 5,5 kg del mismo, la muestra a procesar para que sea representativa, tiene que ser equivalente al boniato que se encuentra dentro del AE y que debe consumir el cerdo en un día. La masa de las muestras se obtuvo con una balanza técnica Scout Pro con precisión de  $\pm 0,1$  g y rango hasta 5 000 g.

Para comprobar si hubo diferencias significativas en los tamaños de partículas en los horarios, se utilizó un diseño completamente aleatorizado y se aplicó dócima de Duncan para  $P < 0,05$  en los casos necesarios. Para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico Infostat versión 2012 (Di Rienzo *et al.*, 2012).

### Experimento N° 1. Determinación del tamaño del boniato fraccionado que se obtiene con máquina troceadora con órgano de trabajo tipo tambor con cuchillas

La determinación consiste en medir con un pie de rey, de rango 0-250 mm y precisión 0,05 mm, todas las fracciones de boniato de cinco muestras (de 2,2 kg cada una) del mismo lote, en los horarios previamente establecidos. El boniato fraccionado por el picador de cuchillas se mide siempre por el mayor de sus lados.

### Experimento N° 2. Determinación del tamaño de partícula que se obtiene con el molino de martillo

El contenido de humedad en base seca antes del cribado se determina por la expresión que aparece a continuación, para ello las muestras obtenidas en el laboratorio de la agroindustria pasan por un proceso de secado a temperatura de 60°C por 24 horas, mediante el empleo de una estufa termostática Boxun: RT:  $250 \pm 5^\circ\text{C}$ , precisión  $0,1^\circ\text{C}$

$$CH = \left( \frac{H_i - H_f}{H_f} \right) \cdot 100$$

donde:

CH- contenido de humedad en base seca, %;

$H_i$  - masa inicial húmeda, kg;

$H_f$  - masa final seca, kg.

Para este experimento se utilizó un tamiz dispersador-sacudidor de malla intercambiable, marca Clarke. Se seleccionaron cinco muestras de 2,2 kg (por ser el boniato el 40% de la ración del AEC que consume un cerdo en el día) cada una del mismo lote de boniato y en los horarios propuestos para garantizar condiciones de humedad similares, las muestras se pesaron en una balanza técnica Scout Pro con precisión de  $\pm 0,1$  g y rango hasta 5 000 g. Se empleó la metodología descrita por Valdés (2008), que consiste en remover el boniato

That consists in removing the sweet potato milled in a sieve of caliber 7 mm during 1 min, which allows that particles with average dimensions of 6 mm pass through it, with the objective of estimating the means of the mass (kg) of sweet potato milled by the hammer mill in the established schedules. A time of useful work of 12 min was used in every schedule.

Later, the bottom was changed for a mesh of caliber 5 mm (particles with average dimensions of 4 mm) and the mass of milled sweet potato that was in the sieve in the different schedules was quantified (kg), with the objective of estimating its mean.

## RESULT AND DISCUSSION

### Main Physical-Mechanical Characteristics of Sweet Potato

The physical-mechanical characteristics (Table 1) showed a size of big proportions and irregular form, being feasible for their agroindustrial processing. The consumers look for roots of medium sizes with not very irregular forms (García *et al.*, 2016). The resistance to the penetration was comparable with that of other roots and tubers, being a root of hard bark, similar to cassava bark (Rodríguez, 2008). The rolling angle was low, given that the unequal rounded form facilitated that it rotated to few degrees of inclination.

molido en un tamiz de calibre 7 mm durante 1 min, el cual permite que pasen a través de él, partículas con dimensiones medias de 6 mm, con el objetivo de estimar la media de la masa (kg) de boniato molido por el molino de martillo en los horarios establecidos. Se utiliza un tiempo de trabajo útil de 12 min en cada horario.

Con posterioridad se cambió el fondo para una malla de calibre 5 mm (partículas con dimensiones medias de 4 mm) y se cuantifica la masa (kg) de boniato molido que quedó en el tamiz en los diferentes horarios, con el objetivo de estimar la media de la masa (kg) de boniato molido.

## RESULTADO Y DISCUSIÓN

### Principales características física-mecánicas del boniato

Las características física-mecánicas (tabla 1) muestran una talla de grandes proporciones y forma irregular, siendo factible para su procesamiento agroindustrial. Los consumidores buscan raíces de tamaños medianos con formas poco irregulares (García *et al.*, 2016). La resistencia a la penetración es comparable con la de otras raíces y tubérculos, siendo una raíz de corteza dura, similar a la yuca (Rodríguez, 2008). El ángulo de rodadura fue bajo, dada a que la forma redondeada desigual facilitó que este ruede a pocos grados de inclinación.

**TABLE 1. Main physical-mechanical characteristics of sweet potato**  
**TABLA 1. Principales características física-mecánicas del boniato**

Indicators		Means	DE	CV, %
Size	long (mm)	147,35	34,21	23,21
	Perimeter (mm)	286,07	85,61	29,92
	Mass (kg)	0,607	0,219	36,07
Resistance to penetration (N/mm <sup>2</sup> )		6,61	0,11	1,66
Rolling angle (°)		21,6	0,69	3,19
Volumetric mass (t/m <sup>3</sup> )		0,750	0,01	1,33
Density (g/cm <sup>3</sup> )		0,7508	0,011	1,46

DE: Standard deviation. CV: Variation coefficient.

The efficiency of filling ( $\beta$ ) was of 0,8, similar for the three repetitions. A triangle similar to that of the Figure 1 was formed. The bulk load was deposited in a transporter of splints with lateral borders.

From the experimental results, it was obtained that the slope angle was of 47,08°. The confidence interval was calculated and it was observed that for an estimate of the height (H), the mean obtained was of 0,1908 m. That evidenced that with a confidence of 95%, that value was in the interval of 0,18 and 0,20 m (Table 2).

La eficiencia de llenado ( $\beta$ ) es de 0,8, siendo similar para las tres repeticiones, formándose un triángulo semejante al de la figura 1. Estando la carga a granel depositada en un transportador de tablillas con bordes laterales.

Se obtuvo a partir de los resultados experimentales que el ángulo de talud es de 47,08°. Se calculó el intervalo de confianza y se observó que para una estimación de la altura (H), el promedio que se obtuvo fue de 0,1908 m, lo que evidencia que con una confianza del 95% ese valor se encuentra en el intervalo de 0,18 y 0,20 m (tabla 2).

**TABLE 2. Sweet potato height for each sample from both lots**  
**TABLA 2. Altura de boniato para cada una de las muestras de ambos lotes**

Variable	Lot 1			Lot 2			EE(±) Signif.
	1	2	3	1	2	3	
Height H (m)	0.19	0,20	0,185	0,18	0,193	0,197	0,03 P=0,7132

**Determination of the Quality of the Chopping and Grinding Processes**

The results of the variance analysis for the particle size obtained with the chopper machine are shown in Table 3. From this study it is possible to affirm that the factor schedule of sampling did not have a significant influence on the size of the particles obtained in the chopping process. Other factors like variety, product humidity, hardness and resistance to the cut and the technological parameters as the power and speed of the work organs, influence directly on the parameter of quality in study ( Paneque *et al.*, 2018). It evidenced that the schedule did not influence in the particle size that was of  $40\pm 7$  mm.

**Determinación de la calidad del troceado y molido**

Los resultados del análisis de varianza para el tamaño de partícula obtenido con el aparato troceador se muestran en la Tabla 3. A partir del estudio realizado es posible afirmar que el factor horario de muestreo no tuvo una influencia significativa sobre la talla obtenida en el troceado. Otros factores como, la variedad, la humedad del producto, su dureza, resistencia al corte y parámetros tecnológicos como la potencia y velocidad de los órganos de trabajo, influyen directamente sobre el parámetro de calidad en estudio Paneque *et al.* (2018), por lo que evidencia que el horario no influyó en el tamaño de partícula, que fue de  $40\pm 7$  mm.

**TABLE 3. Size of particles obtained by the chopper machine**  
**TABLA 3. Tamaño de partículas obtenidas por el aparato troceador**

Hour Variable	8:00	11:00	13:00	15:00	17:00	EE(±) Signif.
Mean value of the particles (mm)	39,20	34,20	38,60	34,40	33,80	4,01 P=0,7857

When calculating the interval of confidence of the particle size for this experiment, it was observed that the mean value was of 36,06 mm, which was in the interval of 32,52 and 39,56 mm with a level of confidence of 95%, (Table 4). That means that it was in the range ( $40\pm 7$  mm).

Al calcular el intervalo de confianza del tamaño de partícula para este experimento, se observó que el valor promedio fue de 36,06 mm, resultado que se encuentra en el intervalo de 32,52 y 39,56 mm con un nivel de confianza del 95%, (Tabla 4). Lo que significa que se encuentra en el rango ( $40\pm 7$  mm).

**TABLE 4. Interval of confidence of the particles size in mm**  
**TABLA 4. Cálculo del intervalo de confianza del tamaño de partículas en mm**

Particle size	EE(±)	LI (95%)	LS (95%)
36,06	1,71	32,52	39,56

When analyzing the quality of the sweet potato milled starting from the size of particles obtained by means of the sieving, it was observed that the percentage of mass retained in the sieve caliber 7 mm was similar to zero. However, when carrying out the test in the sieve of caliber 5 mm, it was observed that there were not significant differences among the schedules of samplings (P=0,7059), (Table 5).

Al analizar la calidad del boniato molido a partir de la talla de partículas obtenido mediante el tamizado se observó que el porcentaje de masa retenida en el tamiz calibre 7 mm fue igual a cero. Sin embargo, al realizar la prueba en el tamiz de calibre 5 mm, se observó que no hubo diferencias significativas entre los horarios de muestreos (P=0,7059), (Tabla 5).

**TABLE 5. Percentage of milled sweet potato retained in the sieves of calibers 7 and 5 mm**  
**TABLA 5. Porcentaje de boniato molido retenido en el tamiz de calibre 7 y 5 mm**

Schedule	8:00	11:00	13:00	15:00	17:00	EE (±) Signif.
Milled sweet potato retained (%), in sieve of caliber 7 mm	0	0	0	0	0	0
Milled sweet potato retained (%), in sieve of caliber 5 mm	10,45	10,45	12,27	10,90	9,54	0,03 P=0,7059

The same as in the previous experiment, the interval of confidence was calculated and it was observed that for an estimate of the sweet potato mass the average that stayed in the sieve of caliber 5 mm was of 0,24 kg, what evidences that, with a confidence of 95%, that value is respectively in the interval of 0,21 and 0,26 kg, which represents 10,9% of the total mass (Table 6).

Al igual que en el experimento anterior se calculó el intervalo de confianza y se observó que para una estimación de la masa de boniato el promedio que se quedó en el tamiz de calibre 5 mm fue de 0,24 kg, lo que evidencia que con una confianza del 95% ese valor se encuentra en el intervalo de 0,21 y 0,26 kg respectivamente, lo que representa el 10,9% de la masa total, (Tabla 6).



**TABLE 6. Calculation of the interval of confidence for the mass of sweet potato in kg**  
**TABLA 6. Cálculo del intervalo de confianza para la masa del boniato en kg**

Sweet potato mass	EE(±)	LI (95%)	LS (95%)
0,24	0,01	0,21	0,26

As a result it was obtained that under the studied conditions, in all the samples of the five schedules, 100% of the particles passed through the sieve of caliber 7 mm (none possesses superior value to 7 mm) and only 10,9% of these was retained in the sieve of caliber 5 mm. That demonstrated that the selected equipment (chopper machine and mill of hammers) in the technological proposal, under the studied conditions, are able to produce the particle size recommended for the feeding of pigs, according to their management requirements. It was proved that the particle size obtained by the chopper machine and the mill of hammers corresponds to the proposed technology. The results obtained evidenced that.

## CONCLUSIONS

- It was proved that sweet potato presents physical-mechanical characteristics in correspondence with the established parameters for its agroindustrial processing, as it presents a size of big proportions, with resistance to the penetration of 6,61 N/mm<sup>2</sup> and angle of rolling of 21,6°.
- The quality of the chopped sweet potato during the production of silage feed for pigs in the plant “Héctor Molina” under the studied conditions, responds to the proposed technology, being proven that the average value of the particle size was of 36,06 mm.
- It was obtained that the quality of the milling responds to the demands of the technology, demonstrating that 100% of the total mass of sweet potato fulfills the recommended particle size (4±2 mm) and that only 10,9% of the particles has a value between 4 and 6 mm.

## REFERENCES

- CASTRO, E.; DE HOMBRE, R.A.; (primero): *Parámetros mecánicos y textura de los alimentos*. 2007. Universidad de Chile. Santiago de Chile. 148 p., Universidad de Chile, Santiago de Chile, 2007.
- DI RIENZO, J.A.; BALZARINI, M.G.; CASANOVES, F.; GONZÁLEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W.: *InfoStat versión 2012, [en línea]*, Inst. Grupo InfoStat. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina, 2012, *Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>*, [Consulta: 9 de mayo de 2017].
- GARCÍA, A.D.; PÉREZ, M.Y.; GARCÍA, A.A.; MADRIZ, P.M.: “Caracterización postcosecha y composición química de la batata (Ipomoea batatas (Lam) variedad topera”, *Agron. Mesoam.*, 27(2): 287-300, 2016, ISSN: 2215-3608, DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/am.v27i2.21426>.
- GARCÍA, E.; PACHECO, E.: “Caracterización postcosecha del apio cultivado en el Municipio Tovar, estado Mérida-Venezuela”, *Agronomía Tropical*, 58: 409-416, 2008, ISSN: 0002-192X.
- GONZÁLEZ, V.R.: *Explotación del parque de maquinaria*, Ed. Editorial Félix Varela, primera ed., La Habana, Cuba, 1993, ISBN: 959-07-0028-4.
- IGLESIAS, C.; SOTO, W.: *Mecanización de los Procesos Pecuarios*, Ed. Empresa Nacional de Producción del MES, Ediciones ISCAH, San José de las Lajas. Habana, Cuba, 324 p., 1987.
- MEDEROS, C.M.; CRESPO, A.; HERNÁNDEZ, G.; PILOTO, J.L.; MACÍAS, M.; ALMAGUEL, R.E.: *Porcinocultura cubana. Manejo nutricional y reproductivo*, Ed. Asociación Cubana de Producción Animal, La Habana, Cuba, 168 p., 2014, ISBN: 978-959-307-073-7.
- OLIVET, R.Y.E.; ORTIZ, A.E.; COBAS, D.; BLANCO, A.; HERRERA, E.: “Evaluación de la labor de rotura con dos aperos de labranza para el cultivo del boniato (Ipomoea batatas Lam) en un Fluvisol”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(4): 24-29, 2012, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- ORTIZ, A.E.R.; GASKINS, B.; PARRA, L.R.; H B: “Evaluación de la calidad del trabajo de aperos de labranza en la labor de surcado para el cultivo del boniato (Ipomoea batatas (Lam) Poir)”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(1): 16-19, 2011, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.

Como resultado se obtiene que bajo las condiciones estudiadas, en todas las muestras de los cinco horarios, el 100% de las partículas pasan por el tamiz de calibre 7 mm (ninguna posee valor superior a los 7 mm) y sólo el 10,9% de éstas quedan retenida en el tamiz de calibre 5 mm. Demostrándose que los equipos seleccionados (máquina troceadora y molino de martillos) en la propuesta tecnológica, bajo las condiciones estudiadas logran obtener el tamaño de partícula recomendado para la alimentación de los cerdos, según las exigencias zootécnicas. Se comprobó que el tamaño de partícula obtenido por el aparato troceador y el molino de martillos, se corresponden con la tecnología propuesta. Los resultados que se relacionan, así lo muestran.

## CONCLUSIONES

- Se comprobó que el boniato presenta características físico-mecánicas en correspondencia con los parámetros establecidos para su procesamiento agroindustrial, al presentar una talla de grandes proporciones, con resistencia a la penetración de 6,61 N/mm<sup>2</sup> y ángulo de rodadura de 21,6°.
- La calidad del boniato troceado durante la producción de alimento ensilado para cerdos en la planta “Héctor Molina” bajo las condiciones estudiadas, responde a la tecnología propuesta, comprobándose que el valor promedio del tamaño de partícula fue de 36,06 mm.
- Se obtiene que la calidad del molinado responde a las exigencias de la tecnología, demostrando que el 100% de la masa total de boniato cumple con el tamaño de partícula recomendado (4±2 mm) y que sólo el 10,9% de las partículas tienen un valor entre 4 y 6 mm.

- PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K.H.: *Engineering Design*, third edition, USA, 616 p., 2005, ISBN: 978-1-84628-319-2.
- PALOMINO, C.; MOLINA, Y.; PÉREZ, E.: “Atributos físicos y composición química de harinas y almidones de los tubérculos de Colocasia esculenta (L.) Schott y Xanthosoma sagittifolium (L.) Schott”, *Revista Facultad de Agronomía (UCLV)*, 36: 58-66, 2010.
- PANEQUE, R.P.: *Transportadores en la Agricultura*, Ed. Editorial Félix Varela, Ministerio de Educación Superior, primera ed., La Habana, Cuba, 276 p., 1988.
- PANEQUE, R.P.; LÓPEZ, C.G.; MAYANS, C.P.; MUÑOZ, G.F.; GAYTÁN, R.J.G.; ROMANTCHIK, K.E.: *Fundamentos Teóricos y Análisis de Máquinas Agrícolas*, Ed. Universidad Autónoma Chapingo, vol. 1, Chapingo, Texcoco, México, 456 p., 2018, ISBN: 978-607-12-0532-2.
- POLANCO, P.M.F.: *Maquinaria y Mecanización Agrícola*, Bogota, Colombia, 2007.
- RODRÍGUEZ, G.: *Caracterización de variedades de batata (Ipomoea batata) con el fin de desarrollar un puré que sea fuente para la elaboración de productos preformados en MCCAIN Colombia*, Universidad de La Salle, Tesis de grado, Bogotá, Colombia, 2008.
- SABLIKOV, M.V.: “Fundamento de la teoría y el cálculo tecnológico”, En: *Máquinas Agrícolas Parte II*, Ed. Editorial KOLOS, Moscú, Rusia. URSS, pp. 285-286, 1978.
- SOTTO, B.P.D.: *Organización de la explotación de la maquinaria agrícola*, Inst. Ministerio de la Agricultura, Instituto de Investigaciones de Mecanización Agropecuaria (IIMA), La Habana, Cuba, 14 p., 2000.
- STOUT, B.A.: *Handbook of energy for world agriculture*, Ed. Elsevier, 2012.
- VALDÉS, H.P.A.: *Modelación físico-matemática del proceso tecnológico del órgano de corte de tambor en las picadoras de forraje con alimentación manual, [en línea]*, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), PhD. Thesis, La Habana, Cuba, 186 p., 2008, *Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Pedro\\_Valdes\\_Hernandez/publications](https://www.researchgate.net/profile/Pedro_Valdes_Hernandez/publications), [Consulta: 8 de junio de 2018]*.
- VALDÉS, H.P.A.; MARTÍNEZ, R.A.; VALENCIA, O.Y.; BRITO, D.E.: “Influencia del momento de inercia del tambor y de diferentes ángulos de alimentación constantes sobre el calibre de las partículas de forraje procesado con picadores del tipo de tambor con alimentación manual. Parte I”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(3): 53-56, 2010, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- VALDÉS, H.P.A.; MARTÍNEZ, R.A.; VALENCIA, O.Y.; BRITO, D.E.: “Validación del modelo de cálculo de la potencia consumida por las picadoras de forraje del tipo de tambor con alimentación manual”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(2): 05-10, 2012, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- VALDÉS, P.: *Determinación de los principales parámetros de diseño de los órganos de trabajo de una máquina para la cosecha semimecanizada de tomates (licopersicum esculentum mil), [en línea]*, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Tesis en opción al título de Master en Ciencias en Mecanización Agrícola, San José de las Lajas. Habana, Cuba, 2003, *Disponible en: <https://www.researchgate.net/profile/PedroValdesHernandez/publication/3282281>*, [Consulta: 15 de junio de 2019].
- VÁZQUEZ, P.A.: *Tecnología agroindustrial para la producción de alimento ensilado de boniato (Ipomoea batata (L.) Lam.) para cerdos*, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas Agropecuaria, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, 100 p., 2019.

---

*Arelys Vázquez-Peña*, Investigadora, Instituto de Ciencia Animal, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: [avazpe2015@gmail.com](mailto:avazpe2015@gmail.com)  
*Antihus Hernández-Gómez*, Profesor Titular, Universidad Agraria de La Habana, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: [antihus@unah.edu.cu](mailto:antihus@unah.edu.cu)

*Magalis Herrera-Villafranca*, Investigadora, Instituto de Ciencia Animal, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: [mvillafranca@ica.co.cu](mailto:mvillafranca@ica.co.cu)  
*Pedro Valdés-Hernández*, Profesor Titular, Universidad Agraria de La Habana, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, email: [pppvaldes@nauta.cu](mailto:pppvaldes@nauta.cu)

The authors of this work declare not to present conflict of interests.

This article is subject to the License of Recognition-NoComercial of Creative Commons 4.0 International (DC BY-NC 4.0).

The mention of commercial marks of teams, instruments or specific materials obey identification purposes, not existing any promotional commitment with relationship to the same ones, neither for the authors neither for the editor.