

## Effect of different dehydration methods on physicochemical properties of *Roystonea regia* nuts

### Efecto de diferentes métodos de deshidratación en las propiedades físicoquímicas de las semillas de *Roystonea regia*

O.G. Pérez-Acosta, Madeleidy Martínez-Pérez, Laisury Díaz Mora, Lucía R. Sarduy García y Lázara Ayala González

*Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba*  
Email: [operez@ica.co.cu](mailto:operez@ica.co.cu)

O. G. Pérez-Acosta <https://orcid.org/0000-0003-3656-7116>

Madeleidy Martínez-Pérez <https://orcid.org/0000-0003-1585-2858>

Lázara Ayala González <https://orcid.org/0000-0002-0739-3463>

To study the effect of different dehydration methods on physicochemical properties of *Roystonea regia* nuts (royal palm nuts), three treatments were established, consisting of three methods for drying seeds: in an oven at 45 °C, open air and in a solar dryer. The fresh sample constituted the control. Physical properties like sphericity, weight of 1,000 nuts, apparent and real density, as well as porosity, were studied. The content of dry matter, ash, crude protein, ether extract and fiber fractionation were determined. For the variables weight loss and bed temperature, the mixed generalized linear model was used, with repeated measurements over time. Analysis of variance was applied for analyzing physicochemical properties, according to a completely randomized design. Interaction in temperature (sampling hours x treatment) was observed, and there was no effect on weight loss. This last indicator decreased as drying time increased (0.92, 0.79, 0.64, 0.48 kg for 0, 24, 48 and 72 h, respectively,  $P < 0.0001$ ). There were no differences among treatments for physical properties, but there were differences regarding the fresh sample. However, crude protein, ether extract, acid detergent fiber and lignin varied. Results allowed to conclude that the dehydration method did not influence on weight loss nor on palm nuts properties. However, it was found that, out of the three studied methods, the use of solar dryer favors chemical composition of the grain.

Key words: *chemical composition, dehydration, royal palm, gravimetric properties*

The use of seeds in animal species of zootechnical interest, allows to fulfill a balanced diet, since they constitute a source of macro and micronutrients, necessary for optimal growth, development and animal production. After harvesting, so that the seeds do not lose their quality, it is necessary to reduce the moisture content to minimize the risk of deterioration due to fungi and mycotoxins (Sánchez *et al.* 2020). Physical and chemical properties of the grain and its relationship with the water content can be modified in the drying and conservation process of the seed (Ordóñez *et al.* 2012). Therefore, the study of these variables is essential for the proper design of the equipment required for its management, transport and storage.

Dehydration or drying is one of the oldest methods for processing and preserving food. It constitutes the

To study the effect of different dehydration methods on physicochemical properties of *Roystonea regia* nuts (royal palm nuts), three treatments were established, consisting of three methods for drying seeds: in an oven at 45°C, open air and in a solar dryer. The fresh sample constituted the control. Physical properties like sphericity, weight of 1,000 nuts, apparent and real density, as well as porosity, were studied. The content of dry matter, ash, crude protein, ether extract and fiber fractionation were determined. For the variables weight loss and bed temperature, the mixed generalized linear model was used, with repeated measurements over time. Analysis of variance was applied for analyzing physicochemical properties, according to a completely randomized design. Interaction in temperature (sampling hours x treatment) was observed, and there was no effect on weight loss. This last indicator decreased as drying time increased (0.92, 0.79, 0.64, 0.48 kg for 0, 24, 48 and 72 h, respectively,  $P < 0.0001$ ). There were no differences among treatments for physical properties, but there were differences regarding the fresh sample. However, crude protein, ether extract, acid detergent fiber and lignin varied. Results allowed to conclude that the dehydration method did not influence on weight loss nor on palm nuts properties. However, it was found that, out of the three studied methods, the use of solar dryer favors chemical composition of the grain.

Key words: *chemical composition, dehydration, royal palm, gravimetric properties*

La utilización de semillas en especies animales de interés zootécnico permite llevar a cabo una alimentación balanceada, ya que constituyen una fuente de macro y micronutrientes necesarios para el óptimo crecimiento, desarrollo y producción animal. Después de cosechadas, para que las semillas no pierdan su calidad, se requiere reducir el contenido de humedad para minimizar el riesgo de deterioro por el ataque de hongos y micotoxinas (Sánchez *et al.* 2020). Las propiedades físicas y químicas del grano y su relación con el contenido de agua se pueden modificar en el proceso de secado y conservación de la semilla (Ordóñez *et al.* 2012). Por ello, se hace imprescindible el estudio de estas variables para el diseño apropiado del equipamiento que se requiere para su manejo, transporte y almacenamiento.

La deshidratación o secado es uno de los métodos más antiguos para el procesamiento y conservación de

main transformation that takes place in the seed after its harvest. This process requires great attention so that grain quality is not affected, since its objective is that the chemical characteristics are maintained for as long as possible during the storage period (Fernández-Gómez *et al.* 2019).

Drying is carried out by applying heat, specifically hot air (Espinoza 2016). Drying methods range from mechanical to thermal with hot air, natural or forced. These last include open air drying and the use of solar dryers or industrial ovens (forced air ovens), and some others (Tinoco and Ospina 2010).

Royal palm nuts are the fruit of royal palm (*Roystonea regia* H.B.K. Cook), which represents an important source of fiber and fat. Traditionally, it is used for animal feed (Caro *et al.* 2015) and inclusion levels of up to 30 % in the diet have been reported in pigs (Oliva *et al.* 2018). However, little research has been carried out on drying methods, as well as their influence on physicochemical indicators of the grain. Therefore, the objective of this study was to analyze the effect of different dehydration methods on the physicochemical properties of royal palm nuts.

### Materials and Methods

*Location.* The experiment was conducted at the Institute of Animal Science. During the research, records of climate variables were obtained, which were kept between 22-24 °C minimum temperature, 32-33 °C maximum and 65-70 % of relative environmental humidity.

*Study material.* Royal palm nuts were obtained in Mayabeque province, Cuba. Two days after cutting the clusters, nuts were collected at random after they separated from the inflorescence. They were stored indoors, in bags, for two days until the experiment began.

*Drying methods.* Three methods were used: in a forced air oven at 45 °C, open air and in a direct solar dryer.

*Experimental procedure.* Six trays were used for each drying method, in which the nuts were placed (2.51 kg of initial weight), at a bed height of 3 cm. They were weighed on a Royal brand technical balance ( $\pm 5$  g precision) before beginning the experiment, and after 24, 48 and 72 h, to determine weight loss. At these times, temperature was determined with a 100 °C thermometer in each of the trays, inside the bed, at three different points, and they were averaged.

*Humidity.* It was determined in the fresh sample and after completing the experiment, according to AOAC (2019).

*Weight of a thousand nuts.* A total of 100 nuts were weighed on a Royal electronic scale, and then extrapolated to 1,000 grains (Kachru *et al.* 1994 and Vilche *et al.* 2003). Six experimental determinations were performed per treatment.

*Geometric diameter.* To determine the average

los alimentos. Constituye la transformación principal que tiene lugar en la semilla luego de su cosecha. Este proceso requiere de gran atención para que no se afecte la calidad del grano, pues su objetivo es que se mantengan las características químicas por el mayor tiempo posible durante el período de almacenamiento (Fernández-Gómez *et al.* 2019).

El secado se realiza mediante la aplicación de calor, específicamente de aire caliente (Espinoza 2016). Los métodos de secado varían desde los mecánicos hasta los térmicos con aire caliente, por tiro natural o forzado. Entre estos últimos se destaca el secado al aire libre y el uso de secadores solares o de hornos industriales (estufas de aire forzado), entre otros (Tinoco y Ospina 2010).

El palmiche es el fruto de la palma real (*Roystonea regia* H.B.K. Cook), que representa una importante fuente de fibra y grasa. Tradicionalmente, se utiliza para la alimentación animal (Caro *et al.* 2015) y se han informado en cerdos niveles de inclusión hasta de 30 % en la dieta (Oliva *et al.* 2018). Sin embargo, se ha investigado poco acerca de los métodos de secado, así como de su influencia en indicadores fisicoquímicos del grano. Por ello, el objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de diferentes métodos de deshidratación en las propiedades fisicoquímicas de las semillas de palmiche.

### Materiales y Métodos

*Localización.* El experimento se realizó en el Instituto de Ciencia Animal. Durante la investigación se obtuvieron los registros de las variables del clima, que se mantuvieron entre 22-24 °C de temperatura mínima, 32-33 °C de máxima y 65-70 % de humedad relativa ambiental.

*Material de estudio.* Las semillas de palmiche se obtuvieron en la provincia Mayabeque, Cuba. Dos días después de desmochar los racimos, se recolectaron al azar los frutos luego de que se separaron de la inflorescencia. Se almacenaron en sacos bajo techo durante dos días hasta que comenzó el experimento.

*Métodos de secado.* Se utilizaron tres: en estufa de aire forzado a 45 °C, al aire libre y en secador solar directo.

*Procedimiento experimental.* Se utilizaron seis bandejas por cada método de secado, en las que se colocaron los frutos (peso inicial 2.51 kg) a una altura de cama de 3 cm. Se pesaron en balanza técnica marca Royal (precisión  $\pm 5$  g) antes de comenzar el experimento, y después de las 24, 48 y 72 h para determinar la pérdida de peso. En estos horarios se determinó la temperatura con termómetro de 100 °C en cada una de las bandejas, dentro de la cama, en tres puntos diferentes, y se promediaron.

*Humedad.* Se determinó en la muestra fresca y tras culminar el experimento, según AOAC (2019).

*Peso de mil semillas.* Se pesaron 100 semillas en una balanza electrónica Royal, y luego se extrapoló a 1000 granos (Kachru *et al.* 1994 y Vilche *et al.* 2003). Se realizaron seis determinaciones experimentales por tratamiento.

*Diámetro geométrico.* Para determinar las dimensiones

dimensions of nuts, 20 units per treatment were randomly taken. Its three main dimensions were measured using a Vernier caliper, with an accuracy of 0.005 mm: length (a), width (b) and thickness (c). Mean geometric diameter (Dg) was calculated as the geometric mean of the three dimensions using the expression of Ordóñez *et al.* (2012):

$$Dg = (abc)^{1/3}$$

*Apparent density.* It was calculated by the standard weight test procedure (Ghodki and Goswami 2016). For this, a 250 mL graduated test tube was used, in which royal palm nuts were dropped at a constant speed, at a height of 10 cm from its upper edge. This process was carried out until the line representing 200 mL was reached. The mass of royal palm nuts in the container was divided by the volume of the cylinder represented by the graduated test tube. Calculation was made using the following equation:

$$\delta_{\text{apparent}} = \frac{M_{rl} - M_{rv}}{V_r}$$

Where:

M<sub>rl</sub>: full container mass

M<sub>rv</sub>: empty container mass

V<sub>r</sub>: container volume

*Real density.* It was quantified by liquid pycnometer (MC-type pycnometer, 50 mL) in a 0.0001 g precision analytical balance. The equation described by Cerón Cárdenas *et al.* (2015) was applied:

$$\delta_{\text{real}} = \frac{(wps - wp)}{(wpl - wp) - (wpls - wps)} pl$$

Where:

wps: pycnometer mass with sample

wp: mass of the empty pycnometer

wpl: pycnometer mass with the liquid

wpls: pycnometer mass with sample and liquid

pl: density of the liquid

*Porosity calculation.* It was calculated from the values of real density and apparent density, according to Mohsenin (1970):

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\delta_{\text{apparent}}}{\delta_{\text{real}}}\right) * 100$$

Where:

ε: porosity, %

δ<sub>aparente</sub>: apparent density in g/mL

δ<sub>real</sub>: real density in g/mL

*Chemical composition.* Content of dry matter (DM), ash, crude protein (CP) and ether extract (EE) was determined, according to the methodology of AOAC (2019). The method of van Soest *et al.* (1991) was used for performing fiber fractioning: neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), lignin and hemicellulose. Six experimental determinations were made per treatment.

*Statistical analysis.* For data analysis, the

promedio de las semillas, se tomaron aleatoriamente 20 unidades por tratamiento. Se midieron mediante un pie de rey, con exactitud de 0.005 mm, sus tres dimensiones principales: largo (a), ancho (b) y espesor (c). El diámetro geométrico medio (Dg) se calculó como la media geométrica de las tres dimensiones mediante la expresión de Ordóñez *et al.* (2012):

$$Dg = (abc)^{1/3}$$

*Densidad aparente.* Se calculó por el procedimiento de prueba de peso estándar (Ghodki y Goswami 2016). Se utilizó para ello una probeta de 250 mL, en la cual se dejaron caer, a velocidad constante, semillas de palmiche a una altura de 10 cm desde el borde superior de esta. Este proceso se realizó hasta alcanzar la línea que representa los 200 mL. La masa del palmiche en el recipiente se dividió por el volumen del cilindro representado por la probeta. El cálculo se realizó mediante la ecuación siguiente:

$$\delta_{\text{apparent}} = \frac{M_{rl} - M_{rv}}{V_r}$$

Donde:

M<sub>rl</sub>: masa del recipiente lleno

M<sub>rv</sub>: masa del recipiente vacío

V<sub>r</sub>: volumen del recipiente

*Densidad real.* Se cuantificó por picnometría líquida (picnómetro tipo MC, de 50 mL) en una balanza analítica de precisión 0.0001 g. Se aplicó la ecuación descrita por Cerón Cárdenas *et al.* (2015):

$$\delta_{\text{real}} = \frac{(wps - wp)}{(wpl - wp) - (wpls - wps)} pl$$

Donde:

wps: masa del picnómetro con la muestra

wp: masa del picnómetro vacío

wpl: masa del picnómetro con el líquido

wpls: masa del picnómetro con la muestra y el líquido

pl: densidad del líquido

Cálculo de la porosidad. Se calculó a partir de los valores de la densidad real y la densidad aparente, según Mohsenin (1970):

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\delta_{\text{apparent}}}{\delta_{\text{real}}}\right) * 100$$

Donde:

ε: porosidad, %

δ<sub>aparente</sub>: densidad aparente en g/mL

δ<sub>real</sub>: densidad real en g/mL.

*Composición química.* Se determinó el contenido de materia seca (MS), cenizas, proteína bruta (PB) y extracto etéreo (EE), según la metodología de la AOAC (2019). Se utilizó el método de van Soest *et al.* (1991) para realizar el fraccionamiento fibroso: fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina y hemicelulosa. Se realizaron seis determinaciones experimentales por tratamiento.

*Análisis estadístico.* Para el análisis de los datos se utilizó la metodología propuesta por Gómez (2019). Se

methodology proposed by Gómez (2019) was used. Assumptions of normality of errors were demonstrated using Shapiro and Wilk (1965). Pearson correlation analysis and Mauchly (1940) sphericity analysis were applied for weight loss and temperature. These did not fit with the assumptions, so the mixed generalized linear model was used, with repeated measures over time, with the help of SAS Proc Glimmix procedure. Both variables were fitted to Gamma distribution, with logarithmic link function. Treatment, times and treatment x time interaction were considered as fixed effects, and repetitions were stated as random effect. Different variance-covariance structures were tested. The best fit for weight loss variable was composite symmetry (CS), and Toeplitz (Toep) for temperature. In the necessary cases, the comparison between means was made with the fixed range test (Kramer 1956) for  $P < 0.05$ . For data processing, SAS (2013) statistical program, version 9.3, was used.

For the physicochemical variables, analysis of variance was performed, according to a completely randomized design, with four treatments and six repetitions. A tray was considered as the experimental unit. Means were compared according to Duncan (1955) for  $P < 0.05$ , in the necessary cases. Data processing was performed using Infostat statistical program, according to Di Rienzo *et al.* (2012).

### Results and Discussion

There was no significant interaction for weight loss among the studied treatments and drying time. Tables 1 and 2 show the effects separately, in which there were no differences between treatments for weight loss, while this indicator decreased with the increase of drying time. According to Tinoco and Ospina (2010), water of the sample linearly decreases, since there is a direct relationship for its extraction from the solid, according to the humidity content of the nut. The extraction speed will depend on temperature, relative humidity and air speed (Prada *et al.* 2019). Humidity content tends to stabilize over time. However, in this experiment, the limits were not reached for this indicator to remain constant, so

probaron los supuestos normalidad de los errores por la décima Shapiro y Wilk (1965). Se aplicó el análisis de correlación de Pearson y esfericidad de Mauchly (1940) para las variables pérdida de peso y temperatura. Estas incumplieron con los supuestos, por lo que se utilizó el modelo lineal generalizado mixto, con medidas repetidas en el tiempo, con la ayuda del procedimiento Proc Glimmix del SAS. Ambas variables se ajustaron a la distribución Gamma, con función de enlace logarítmica. Se consideraron como efectos fijos el tratamiento, horarios y la interacción tratamiento por horario y como aleatorio, las repeticiones. Se probaron diferentes estructuras de varianza-covarianza. La de mejor ajuste para la variable pérdida de peso fue la simetría compuesta (CS) y para la temperatura, la Toeplitz (Toep). En los casos necesarios, la comparación entre medias se realizó con la décima de rango fijo (Kramer 1956) para  $P < 0.05$ . Para el procesamiento de los datos se utilizó el programa estadístico SAS (2013), versión 9.3.

Para las variables físicoquímicas se realizó análisis de varianza, según diseño completamente aleatorizado, con cuatro tratamientos y seis repeticiones. La unidad experimental fue la bandeja. Las medias se compararon según Duncan (1955) para  $P < 0.05$ , cuando fue necesario. El procesamiento de los datos se realizó mediante el programa estadístico Infostat, según Di Rienzo *et al.* (2012).

### Resultados y Discusión

No hubo interacción significativa para la pérdida de peso entre los tratamientos estudiados y el tiempo de secado. Las tablas 1 y 2 muestran los efectos por separado, en los que no hubo diferencias entre tratamientos para pérdida de peso, en tanto que disminuyó el indicador al aumentar el tiempo de secado. Según Tinoco y Ospina (2010), el agua de la muestra decrece linealmente, ya que existe una relación directa para su extracción del sólido, según el contenido de humedad de la semilla. La velocidad de extracción dependerá de la temperatura, humedad relativa y velocidad del aire (Prada *et al.* 2019). El contenido de humedad se tiende a estabilizar en el tiempo. Sin embargo, en este experimento, no se llegó a los límites para que este indicador permaneciera

Table 1. Weight loss, according to drying method

Indicator	Treatments			SE ± Sign
	Open air	Oven 45 °C	Solar dryer	
Weight loss, kg	0.72 (2.05)	0.70 (2.01)	0.70 (2.01)	0.02 P = 0.6873

( ) Means fitted from link function

Table 2. Weight loss, according to drying time

Indicator	Times, h				SE± Sign
	0	24	48	72	
Weight loss, kg	0.92 <sup>a</sup> (2.51)	0.79 <sup>b</sup> (2.20)	0.64 <sup>c</sup> (1.89)	0.48 <sup>d</sup> (1.61)	0.02 P < 0.0001

<sup>a,b,c,d</sup> Different letters in lines differ at  $P < 0.05$  (Kramer 1956)

( ) Means fitted from link function

further studies are required to achieve optimal storage humidity.

Studies carried out in Cuba on the performance of royal palm described that its flowering and fruiting occurs throughout the year. However, those that take place in the periods from April to August and from October to February are the most significant (Ly 2010). This experiment was carried out in the first period, in which, in addition, relative environmental humidity was high (67%). This could influence on results, since drying time takes longer as the air is close to saturation. According to Fernández-Gómez *et al.* (2019), one of the essential conditions for grain drying is the relationship between humidity content of the product and relative humidity of the air.

Regarding bed temperature, there was an interaction between drying method and sampling time. An increase in the indicator was observed with the increase of drying time in the three methods (table 3). However, the highest values were with the solar dryer. Similar results were obtained by Prada *et al.* (2019), when drying coffee beans. According to these authors, as the temperature is higher, the kinetic energy of water molecules located on the surface of the grain increases and, as a consequence, water evaporates because it overcomes the intermolecular forces of liquid phase. In this process, it is important to pay attention to drying temperature, since it has a decisive influence on nut temperature, because, depending on its value and exposure time, it can become inadequate and negatively influence on mill quality, which affects quality grain availability and their chemical composition (Fernández-Gómez *et al.* 2019).

constante, por lo que se requieren estudios posteriores para lograr la humedad óptima de almacenamiento.

En estudios realizados en Cuba acerca del comportamiento de la palma real se describe que su floración y fructificación ocurre durante todo el año. Sin embargo, son más significativas las que tienen lugar en los períodos de abril a agosto, y de octubre a febrero (Ly 2010). Este experimento se realizó en el primer período, en el que además, la humedad relativa ambiental fue elevada (67%). Esto pudo influir en los resultados, pues el tiempo de secado demora más al estar el aire cercano a la saturación. Según Fernández-Gómez *et al.* (2019), una de las condiciones esenciales para el secado de granos es la relación entre el contenido de humedad del producto y la humedad relativa del aire.

En lo que respecta a la temperatura en la cama, hubo interacción entre el método de secado y el horario de muestreo. Se observó aumento del indicador al incrementarse el tiempo de secado en los tres métodos (tabla 3). No obstante, los valores más elevados fueron con el secador solar. Similares resultados obtuvieron Prada *et al.* (2019), al secar granos de café. Según estos autores, en la medida que la temperatura es mayor, aumenta la energía cinética de las moléculas de agua localizadas en la superficie del grano y, como consecuencia, el agua se evapora porque vence las fuerzas intermoleculares de la fase líquida. En el proceso es importante prestar atención a la temperatura de secado, ya que influye de forma decisiva en la temperatura de la semilla, pues según su valor y el tiempo de exposición se puede tornar inadecuada e influir negativamente en la calidad molinera, lo que afecta la disponibilidad de granos con calidad y su composición química (Fernández-Gómez *et al.* 2019).

Table 3. Temperature variation, according to drying method and sampling time

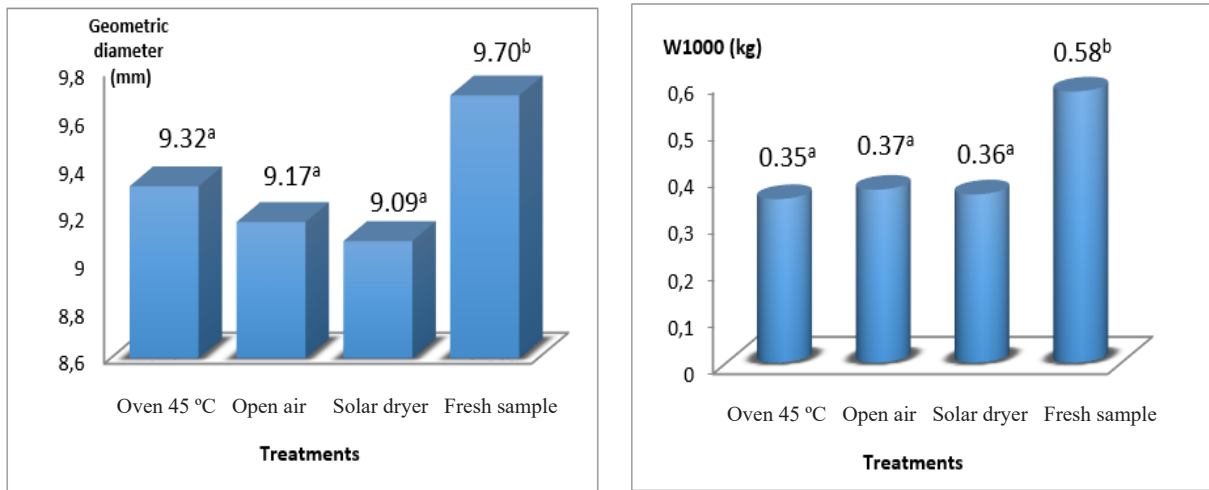
Times (h)	Treatments			SE ± Sign
	Open air	Oven 45 °C	Solar drying	
0	3.24 <sup>g</sup> (25.52)	3.27 <sup>g</sup> (26.22)	3.31 <sup>f</sup> (27.49)	0.01 P < 0.0001
24	3.39 <sup>e</sup> (29.58)	3.43 <sup>cd</sup> (31.01)	3.57 <sup>a</sup> (35.45)	
48	3.39 <sup>de</sup> (29.70)	3.43 <sup>cd</sup> (31.00)	3.51 <sup>b</sup> (33.55)	
72	3.45 <sup>c</sup> (31.61)	3.42 <sup>cde</sup> (30.49)	3.55 <sup>ab</sup> (34.67)	

a,b,c,d,e,f,g Different letters differ at P < 0.05 (Kramer 1956)

( ) Means fitted from link function

Figure 1 shows the geometric diameter and weight of 1,000 nuts. There were no differences among methods. However, both indicators decrease with respect to fresh sample. Ordóñez *et al.* (2012) suggested that humidity content influences on these physical properties, so it was logical to observe the superiority of control regarding the rest of treatments. Values obtained in this study were in the range reported by the cited authors, who worked with hard red corn. They also coincided with Cerón Cárdenas *et al.* (2015), with *Pisum sativum* L. seeds. These results can be related to those observed in tables 1

La figura 1 muestra el diámetro geométrico y el peso de 1000 semillas. No se observaron diferencias entre métodos. Sin embargo, ambos indicadores disminuyen con respecto a la muestra fresca. Ordóñez *et al.* (2012) sugieren que el contenido de humedad influye en estas propiedades físicas, por lo que fue lógico observar la superioridad del control con respecto al resto de los tratamientos. Los valores obtenidos en este estudio se encontraron en el rango informado por los autores citados, quienes trabajaron con el maíz colorado duro. También coincidieron con lo referido por Cerón Cárdenas *et al.* (2015) para semillas de arvejas (*Pisum sativum* L.). Estos resultados se pueden relacionar



<sup>a,b</sup> Different letters differ at  $P < 0.05$  (Duncan 1955)

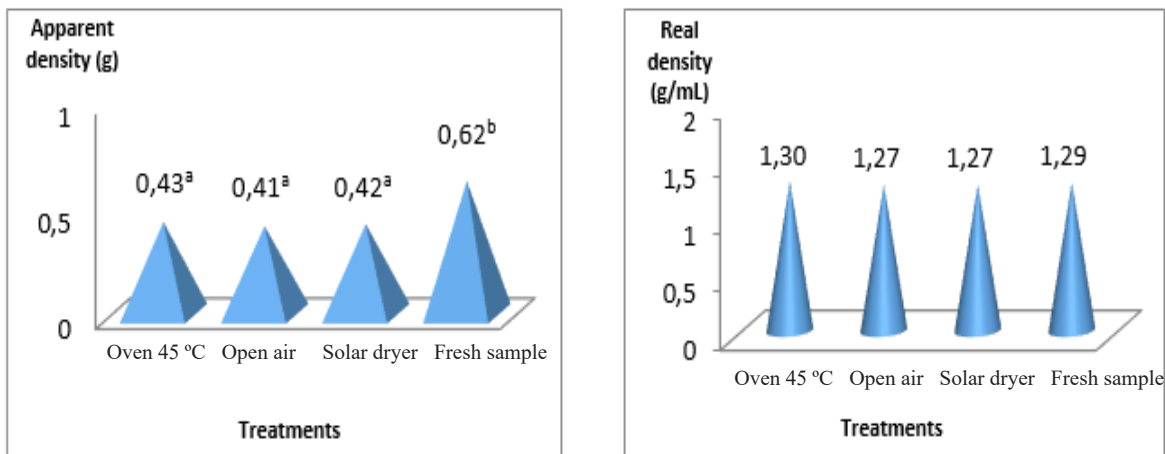
Figure 1. Geometric diameter ( $SE \pm 0.076$ ,  $P = 0.0001$ ) and weight of 1,000 nuts ( $SE \pm 0.013$ ,  $P < 0.0001$ ), according to drying method and fresh sample

and 2, because, although the method did not influence, drying time did, since moisture remained in the seed, and this may be the reason why differences in both indicators were not observed.

Figure 2 shows apparent and real density of royal palm nuts. Differences among treatments were only observed with respect to the fresh sample for the first indicator. Apparent density represents the weight of one hectoliter of nuts, which includes the air volume enclosed by intergranular spaces (Ordóñez *et al.* 2012). For this reason, fresh sample, in which the seed has a larger size and humidity, has less compaction capacity, and the indicator increases with respect to the dry sample in the different methods.

con los observados en las tablas 1 y 2, ya que si bien el método no influyó, sí lo hizo el tiempo de secado, pues quedó humedad en la semilla, y esta puede ser la causa de que no se haya observado diferencias en ambos indicadores.

La figura 2 muestra la densidad aparente y real de los frutos de palmiche. Sólo se observaron diferencias entre los tratamientos con respecto a la muestra fresca para el primer indicador. La densidad aparente representa el peso de un hectolitro de semilla, que incluye el volumen de aire que encierran los espacios intergranulares (Ordóñez *et al.* 2012). Por esta razón, la muestra fresca, donde la semilla tiene mayor tamaño y humedad, posee menor capacidad de compactación, y aumenta el indicador con respecto a la muestra seca en los diferentes métodos.



<sup>a,b</sup> Different letters differ at  $P < 0.05$  (Duncan 1955)

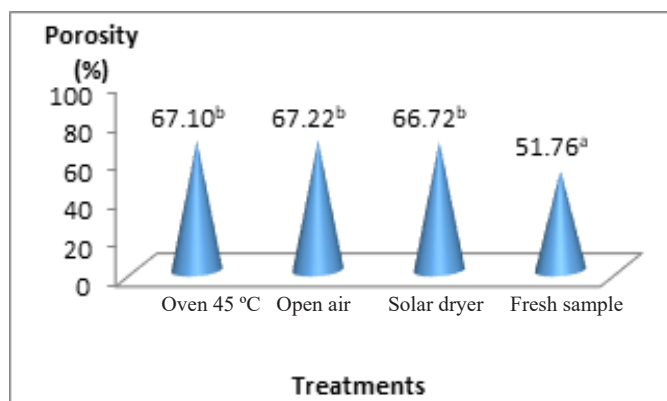
Figure 2. Apparent ( $SE \pm 0.007$ ,  $P < 0.0001$ ) and real ( $SE \pm 0.033$ ,  $P = 0.8608$ ) density, according to drying method used and fresh sample

There was a decrease of porosity in the fresh sample with respect to the different drying methods (figure 3). This result is related to that observed in apparent density, which, in turn, varies according to nut proportion

Hubo disminución de la porosidad en la muestra fresca con respecto a los diferentes métodos de secado (figura 3). Este resultado se relaciona con el observado en la densidad aparente que, a su vez, varía según la proporción

in mass with respect to total volume, as described in the calculation equations. Likewise, since fresh nuts have higher water content, their geometric diameter is higher, so this property decreases. Asoegwu *et al.* (2006) observed that this process occurs in the same way in the African oil bean.

de semilla en masa con respecto al volumen total, como lo describen las ecuaciones de cálculo. Asimismo, al poseer las semillas frescas mayor contenido de agua, su diámetro geométrico es mayor, por lo que disminuye esta propiedad. Asoegwu *et al.* (2006) observaron que este proceso ocurre de igual modo en el frijol oleaginoso africano.



<sup>a,b</sup> Different letters differ at  $P < 0.05$  (Duncan 1955)  
SE  $\pm$  1.17,  $P < 0.0001$

Figure 3. Porosity according to the drying method used and fresh sample

Table 4 shows the chemical composition of royal palm nuts, according to the drying method used and fresh sample. Crude protein was reduced with respect to the fresh sample in the drying at open air, with intermediate values for the solar dryer, and both did not differ from the oven at 45 °C. Values are in the range reported by Caro *et al.* (2015) and Arias *et al.* (2016), who studied the chemical composition of royal palm nuts in six western and central provinces of Cuba.

La tabla 4 muestra la composición química del palmiche, según el método de secado utilizado y la muestra fresca. La proteína bruta se redujo con respecto a la muestra fresca en el secado al aire libre, con valores intermedios para el secador solar, y ambos no difirieron de la estufa a 45 °C. Los valores se encuentran en el rango informado por Caro *et al.* (2015) y Arias *et al.* (2016), quienes estudiaron la composición química del palmiche en seis provincias occidentales y centrales de Cuba.

Table 4. Chemical composition of royal palm nuts, according the drying method used and fresh sample

Indicators, %	Fresh sample	Oven at 45 °C	Open air	Solar dryer	SE $\pm$ Sign
DM	97.06 <sup>a</sup>	98.77 <sup>b</sup>	98.82 <sup>bc</sup>	99.27 <sup>c</sup>	0.15 $P < 0.0001$
Ashes	5.24	5.55	5.56	5.67	0.11 $P = 0.0591$
CP	7.76 <sup>c</sup>	6.97 <sup>ab</sup>	6.86 <sup>a</sup>	7.18 <sup>b</sup>	0.10 $P < 0.0001$
EE	17.06 <sup>ab</sup>	15.84 <sup>b</sup>	17.91 <sup>a</sup>	17.43 <sup>a</sup>	0.44 $P = 0.0214$
NDF	77.78	75.66	77.04	77.23	0.61 $P = 0.1171$
ADF	58.26 <sup>a</sup>	53.32 <sup>b</sup>	53.36 <sup>b</sup>	55.07 <sup>b</sup>	0.78 $P = 0.0006$
Lignin	12.71 <sup>a</sup>	9.08 <sup>b</sup>	8.63 <sup>b</sup>	10.40 <sup>b</sup>	0.58 $P = 0.0003$
Cellulose	44.68	42.57	43.10	42.82	0.71 $P = 0.1849$

<sup>a,b,c</sup> Different letters in lines differ at  $P < 0.05$  (Duncan 1955).

Ether extract increased with the solar dryer and in open air compared to the oven at 45 °C. Fresh sample did not differ from the rest of treatments. The superiority of this fraction with both methods shows that drying process was appropriate for the source under study, since it did not allow the volatilization of these components. Values were slightly lower than those reported by Oliva *et al.* (2018) (20 and 26 %), which can be related to the places of origin of nuts

El extracto etéreo aumentó con el secador solar y al aire libre en comparación con la estufa a 45 °C. La muestra fresca no difirió del resto de los tratamientos. La superioridad de esta fracción con ambos métodos muestra que el proceso de secado fue apropiado para la fuente en estudio, ya que no permitió la volatilización de estos componentes. Los valores resultaron ligeramente inferiores a los informados por Oliva *et al.* (2018) (20, 26 %), lo que se puede relacionar con los lugares de procedencia de la semilla y el proceso

and handling process. In the current study, nuts were used after they were separated from the branch, while these authors detached them manually, so humidity was higher.

No differences were observed among treatments for NDF and cellulose. However, there was reduction of ADF and lignin content in the drying process, compared to the fresh sample. Unlike the first two, these last components are poorly digested by monogastric animals (Dihigo *et al.* 2008), so the used methods are beneficial for the nutritional use of this product for feeding these species, because its composition decreases.

The chemical composition was better with the use of solar dryer regarding the rest of the dehydration methods used. At the same time, higher dry matter values were achieved, which contributes to a higher nutritional quality of nuts. Adding the economic and environmental benefits described by Prada *et al.* (2019) for this drying method, it can be considered the best option to dehydrate royal palm nuts in an alternative production system.

The results allow to conclude that the dehydration method did not influence on weight loss or physical properties of royal palm nuts. However, out of the three studied methods, the use of a solar dryer favors the chemical composition of the grain.

de manipulación. En el presente estudio se utilizaron las semillas después que se separaron de la rama, mientras que estos autores las desprendieron de forma manual, por lo que la humedad fue mayor.

No se observaron diferencias entre tratamientos para la FDN y la celulosa. Sin embargo, hubo reducción del contenido de FDA y lignina en el proceso de secado en comparación con la muestra fresca. A diferencia de los dos primeros, estos últimos componentes son poco digeridos por los animales monogástricos (Dihigo *et al.* 2008), por lo que los métodos que se utilizaron resultan beneficiosos para el uso nutritivo de este producto en la alimentación de estas especies, al disminuir su composición.

La composición química fue mejor con el uso del secador solar con respecto al resto de los métodos de deshidratación utilizados. En el mismo tiempo se alcanzaron mayores valores de materia seca, lo que contribuye a una mayor calidad nutritiva de la semilla. Si a esto se suman los beneficios económicos y ambientales que describe Prada *et al.* (2019) para este método de secado, se puede considerar la mejor opción para deshidratar las semillas de palmiche en un sistema de producción alternativo.

Los resultados permiten concluir que el método de deshidratación no influyó en la pérdida de peso ni en las propiedades físicas de las semillas de palmiche. Sin embargo, de los tres métodos estudiados, el uso del secador solar favorece la composición química del grano.

## References

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2019. Animal Feed. In: Official Methods of Analysis of AOAC International (Vol. 1), 21st Ed. George Latimer Jr. (Ed), Gaithersburg, Maryland, USA, p. 1-77, ISBN: 9780935584899
- Arias, R., Reyes, J.L., Bustamante, D., Jiménez, L., Caro, Y. & Ly, J. 2016. "Chemical characterization and physico-chemical indices of royal palm nuts from Artemisa for pigs". *Livestock Research for Rural Development*, 28(03), ISSN: 0121-3784, Available: <http://www.lrrd.org/lrrd28/3/aria28036.html>
- Asoegwu, S.N., Ohanyere, S.O., Kanu, O.P., & Iwueke, C.N. 2006. "Physical properties of African oil bean seed (*Pentaclethra macrophylla*)". *Agricultural Engineering International: the CIGR EJournal*, 8: 1-16, ISSN: 1682-1130
- Caro, Y., Bustamante, D., Arias, R., Batista, R., Pérez, N., Contino, Y., Almaguel, R., Castro, M. & Ly, J. 2015. "Estudios de la composición química de palmiches cubanos destinados a alimentar ganado porcino y cunicula". *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, 22(2): 79-81, ISSN: 1026-9053
- Cerón-Cárdenas, A.F., Latorre-Vásquez, L.I., Bucheli-Jurado, M.A., Osorio-Mora, O., Mejía-España, D.F. & Garcés-Giraldo, L.F. 2015. "Determinación de constantes de velocidad de rehidratación y cambios sobre algunas propiedades físicas en semillas de arveja (*Pisum sativum* L.)". *Revista Lasallista de Investigación*, 12(1): 21-32, ISSN: 1794-4449, DOI: <https://doi.org/10.22507/rli.v12n1a2>
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M. & Robledo, C.W. 2012. InfoStat version 2012 [Windows]. Grupo InfoStat, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Available: <http://www.infostat.com.ar>
- Dihigo, L.E., Savón, L., Hernández, Y., Domínguez, M. & Martínez, M. 2008. "Physicochemical characterization of mulberry (*Morus alba*), citrus (*Citrus sinensis*) pulp, and sugarcane (*Saccharum officinarum*) meals for the feeding of rabbits". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 42(1): 65-68, ISSN: 2079-3480
- Duncan, D.B. 1955. "Multiple range and multiple F test". *Biometrics*, 11(1): 1-42, ISSN: 0006341X, DOI: <https://doi.org/10.2307/3001478>
- Espinoza, J. 2016. "Innovación en el deshidratado solar". *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 24: 72-80, ISSN: 0718-3305, DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-33052016000500010>
- Fernández-Gómez, T., Díaz-Ruiz, D., Morejón-Mesa, Y. & Domínguez-Calvo, G. 2019. "Evaluación tecnológica del proceso de secado industrial del arroz en el secadero Ramón López Peña". *Revista Ingeniería Agrícola*, 9(3): 29-35, ISSN-2306-1545
- Ghodki, B.M. & Goswami, T.K. 2016. "Effect of moisture on physical and mechanical properties of cassia". *Food Science & Technology*, 2: 1-11, ISSN: 1678-457X DOI: <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1192975>
- Gómez S. 2019. Contribución estadística para el análisis de medidas repetidas en el tiempo en el sector agropecuario. PhD Thesis. Departamento de Biomatemática, Instituto de Ciencia Animal, Mayabeque, Cuba, p. 100
- Kachru, R.R., Gupta, R.K. & Alam, A. 1994. *Physico-Chemical Constituents & Engineering-Properties of food crops*. 1st Ed. Ed. Scientific Publishers, Jodhpur, India, p. 48-97, ISBN: 81-7233-083-9



- Kramer, C.Y. 1956. "Extension of multiple range tests to group means with unequal numbers of replications". *Biometrics*, 12(3): 307-310, ISSN:1541-0420, DOI: <https://doi.org/10.2307/3001469>
- Ly, J. 2010. "La palma real, mitos y realidades". *Boletín Técnico Porcino*, 12: 2-3, ISSN: 2077-4745
- Mauchly, J. 1940. "Significance test of sphericity of a normal n-variate distribution". *Annals of Mathematical Statistics*, 29(2): 204-209, ISSN: 2168-8990, DOI: <https://doi.org/10.1214/aoms/1177731915>
- Mohsenin, N. 1970. Physical properties of plant and animal materials. In: *Structure, physical characteristics and mechanical properties* (Vol. 1). Ed. Gordon & Breach Science Publishers, New York, USA, p. 734, ISBN: 677023006
- Oliva, D., Martínez, M., Jiménez, L. & Ly, J. 2018. "Performance traits of growing pigs fed on diets of royal palm nut meal". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 52(2): 1-8, ISSN: 2079-3480
- Ordóñez, M.R., Gely, M.C. & Pagano, A.M. 2012. "Estudio de las propiedades físicas y de la cinética de secado de granos de maíz colorado duro". *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 3(3): 153-171, ISSN: 0718-8706
- Prada, Á., Vela, C.P., Bardález, G. & Saavedra, J. 2019. "Efectividad de un Proceso de Secado de Café usando Secadores Solares con Sistema de Flujo de Aire Continuo Impulsado por Energía Fotovoltaica, en la Región San Martín, Perú". *Información Tecnológica*, 30(6): 85-92, ISSN: 0718-0764, DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600085>
- Sánchez, A., Gómez-Guerrero, B. & Billiris, A. 2020. "Almacenamiento de arroz: influencia en la inocuidad del grano". *INNOTEC Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay*, 19: 109-124, ISSN: 1688-6593, DOI: <https://doi.org/10.26461/19.08>
- SAS. 2013. Sistema de análisis estadístico, Versión 9.3. Universidad de Nebraska, U.S.A.
- Shapiro, S. & Wilk, B. 1965. "An analysis of variance test for normality (complete samples)". *Biometrika*, 52(3/4): 591-611, ISSN: 0006-3444, DOI: <https://doi.org/10.2307/2333709>
- Tinoco, H.A. & Ospina, D.Y. 2010. "Análisis del proceso de deshidratación de cacao para la disminución del tiempo de secado". *Revista EIA*, 7(13): 53-63, ISSN: 1794-1237, DOI: <https://doi.org/10.24050/reia.v7i13.232>
- Van Soest, P.V., Robertson, J.B., & Lewis, B.A. 1991. "Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition". *Journal of Dairy Science*, 74(10): 3583-3597, ISSN: 0022-0302, DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Vilche, C., Gely, M.C. & Santalla, E. 2003. "Physical properties of quinoa seeds". *Biosystems Engineering*, 86(1): 59-65, ISSN: 1537-5110, DOI: [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(03\)00114-4](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(03)00114-4)

**Received: February 2, 2020**

**Accepted: March 15, 2020**