

Evaluation the Main Physical-mechanical Properties of Cassava (*Manihot Esculenta Crantz*) for their Mechanization

Evaluación de las principales propiedades físico-mecánicas de la yuca (Manihot esculenta Crantz) para su mecanización

Dr.C. Annia García-Pereira¹, M.Sc. Ellys Petrocelly^{II}, M.Sc. Yolanda Sabín-Rendón¹, Dr.C. Antihus Hernández-Gómez¹, Dr.C. Jorge García-Coronado¹

¹Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{II}Universidad Politécnica Territorial “José Antonio Anzoátegui”, El Tigre, Edo. Anzoátegui, Venezuela.

ABSTRACT. The knowledge of the mechanical-physical properties in agricultural products has great importance to face mechanization and agro industrial process. The purpose of this research is addressed in determining the main physical-mechanical properties of cassava (*Manihot esculenta Crantz*, varieties La Reyna y Paigua Negra), for the mechanization of its cultivation. In the study are determined properties such as: the total mass of the plant (Mtp), length of maximum root (Lrm), average diameter of root (Dpr) and high-extraction strength (Re), among others. For processing and analyzing data the Plus version 5.1 STATGRAPHICS software was used, to look for significant differences by means of hypothesis testing. The results show that the sweet variety is significantly better than the bitter one in: total height of plant, number of buds, stem diameter, total weight of plant, number of root/plant, maximum length, diameter and soil resistance with values higher than 5%.

Keywords: Agro industrial process, length, diameter of root and high-extraction strength of cassava.

RESUMEN. El conocimiento de las propiedades físico-mecánicas de los productos agrícolas es de gran importancia de cara a la mecanización y manejo agroindustrial de los mismos. El objetivo del trabajo está dirigido a determinar las principales propiedades físico-mecánicas de la yuca (*Manihot esculenta Crantz*, variedades La Reyna y Paigua Negra), para la mecanización de su cultivo, se determinan propiedades como: el Masa total de la planta (Mtp), longitud de la raíz máxima (Lrm), Diámetro promedio de la raíz (Dpr) y la resistencia a la extracción (Re), entre otras. Para el procesamiento y análisis de los datos se utilizó el software especializado STATGRAPHICS Plus versión 5.1 buscando diferencias significativas a través de una prueba de hipótesis. Los resultados muestran que la variedad dulce supera significativamente a la amarga en: altura total de planta, número de yemas, diámetro de tallo, peso total de planta, número de raíz/planta, longitud máxima, diámetro, y resistencia al suelo con valores superiores al 5%.

Palabras clave: manejo agroindustrial, longitud, diámetro de la raíz y resistencia a la extracción de la yuca.

INTRODUCCIÓN

La yuca es originaria de América tropical antes de 1600, los exploradores portugueses la llevaron a Asia y África; se siembra hoy en 92 países donde alimenta a más de 500 millones de personas (Alarcón y Dufour, 1998). La yuca (*Manihot esculenta L., Crantz*) constituye un alimento básico en la dieta de 17.8 millones personas en el mundo, según FAO (2010), además de ser un cultivo industrial

INTRODUCTION

Cassava, native to tropical America before 1600 and taken by Portuguese explorers to Asia and Africa, is now sown in 92 countries where it feeds more than 500 million people (Alarcón & Dufour, 1998). Cassava (*Manihot esculenta L., Crantz*) is a staple in the diet of 17.8 million people worldwide, according to FAO (2010), as well as being an

con alto potencial que genera ingresos permanentes para pequeños y medianos agricultores (Mojena y Bertolí, 2004), que además de su valor para la alimentación humana y animal, ha venido adquiriendo importancia por su utilización como materia prima de industrias textiles, cartoneras, farmacéuticas y de embutidos, con gran perspectiva para la producción de etanol y plásticos biodegradables (Henry *et al.*, 1998; Salgado *et al.*, 2008; Kaewtatip y Tanrattanakul, 2012; Souza *et al.*, 2012; Vercelheze *et al.*, 2012; Maran *et al.*, 2014).

Actualmente se están realizando estudios para obtener alcohol a partir del almidón de yuca, como catalizador en la gasolina sin plomo; este cultivo está incluido como rubro estratégico dentro del Plan de la Economía Nacional¹.

La mecanización del cultivo de la yuca es una de las principales necesidades de la agricultura en la región sur de Estado Anzoátegui, si se tiene en cuenta la proyección de ese cultivo en los mercados nacionales e internacionales y su aplicación en la industria petrolera. Dada las condiciones que se explican anteriormente, la mecanización de este cultivo y el empleo de diferentes tecnologías para su procesamiento agroindustrial es un fenómeno con el que se ha trabajado desde hace poco más de medio siglo, el uso de la mecanización para su extracción desde el campo está condicionada por las dimensiones que alcance la variedad sembrada, su profundidad de desarrollo y el tipo de suelo.

A pesar de que la yuca, ha sido estudiada ampliamente a nivel mundial, se ha demostrado que sus características varían de una región a otra en función de las condiciones climáticas, variedades sembradas, tipos de suelo; hasta el momento no se cuenta en el Estado Anzoátegui, con un estudio minucioso sobre las propiedades físico-mecánicas de las dos principales variedades de yuca producidas en la región, siendo ésta zona una de las más grandes consumidoras de yuca tanto en forma fresca como de casabe, por todo esto se hace necesario aumentar los volúmenes de producción que demanda el contexto socio económico del país de ahí que el objetivo de esta investigación sea determinar las principales propiedades físico-mecánicas de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz, variedades La Reyna y Paigua Negra), para la mecanización de su cultivo.

MÉTODOS

Metodología para determinar las propiedades físicas y mecánicas

Inicialmente se seleccionaron dos parcelas de estudio, una por variedad de interés. Luego de ello, se procedió a aplicar el método de cuadrícula normal con el fin de seleccionar de manera aleatoriamente las 20 plantas que caracterizarán a las variedades en estudio en las respectivas parcelas se procede a la determinación de las propiedades físico-mecánicas, según la metodología propuesta por Ospina y Ceballos (2002), ajustada al trabajo de Ruiz-Altisent y Chen (1996), y a los manuales del Engels (1981), a los cuales se le aplican algunas modificaciones.

Masa total de la planta (Mtp), se extrae la totalidad de ésta desde la profundidades del substrato; una vez retirada las partículas de arena adheridas a las raíces, pesándose la muestra contentiva de: raíces, tallo y ramas, incluidas las hojas, anotando la medición del pesaje en kg de forma unitaria por planta.

La estimación del **diámetro del conjunto de raíces (Dcr)**, se determina ubicando el conjunto sobre una rejilla de propor-

industrial crop with high potential that generates permanent income for small and medium farmers (Mojena & Bertolí, 2004), which, in addition to its value for human and animal food, has been acquiring importance for its use as raw material in the textile, carton, pharmaceutical and sausage industries, with a great perspective for the production of ethanol and biodegradable plastic materials (Henry *et al.*, 1998; Salgado *et al.*, 2008; Kaewtatip y Tanrattanakul, 2012; Souza *et al.*, 2012; Vercelheze *et al.*, 2012; Maran *et al.*, 2014).

Studies are currently underway to obtain alcohol from cassava starch as a catalyst in unleaded gasoline. This crop is included as strategic item within the Plan of the National Economy¹.

Mechanization of cassava cultivation is one of the main needs of agriculture in the southern region of Anzoátegui State, considering the projection of this crop in national and international markets and its application in the oil industry. Given the conditions explained above, the mechanization of this crop and the use of different technologies for agro-industrial processing is a phenomenon that has been worked for a little more than half a century. The use of mechanization for its extraction from the field is conditioned by the dimensions that the variety sown reaches, its depth of development and the type of soil.

Although cassava has been extensively studied worldwide, its characteristics have been shown to vary from region to region depending on climatic conditions, varieties planted, and types of soil. Even when the State of Anzoátegui is one of the largest cassava consuming areas, both fresh and as cassava bread, it does not have yet a detailed study of the physical and mechanical properties of the two main cassava varieties produced in the region. Due to the necessity of increasing the volume of production demanded by the socio-economic context of the country, the objective of this research is to determine the main physical and mechanical properties of cassava (*Manihotesculenta* Crantz, La Reyna and Paigua varieties Black), for the mechanization of its cultivation.

METHODS

Methodology for determining physical and mechanical properties

Initially two plots of study were selected, one per variety of interest. After that, the normal grid method was applied in order to randomly select the 20 plants that will characterize the varieties under study in the respective plots. Then the determination of physical-mechanical properties, was carried out according to the methodology proposed by Ospina y Ceballos (2002), adjusted to Ruiz-Altisent y Chen (1996) and to Engels's manuals, with some modifications (Engels, 1981).

Total mass of the plant (Mtp). The whole plant is extracted from the depths of the substrate. After removing sand particles adhered to the roots, the sample containing roots, stems and

¹ MCTI: Artículo publicado en Redes Sociales por FREBIN (Frente Bolivariano de Innovadores Investigadores). Venezuela, 2012.

ciones 1 x 1m, y en cuyas regletas están marcadas las medidas en centímetros, una vez colocada la planta completa de forma vertical se marca el contorno y se adquieren las dimensiones en al menos tres puntos equidistantes empleando una cinta métrica.

La longitud de la raíz máxima (Lrm), es medida con la ayuda de un metro graduado en centímetros, situando la regla desde la parte basal de la estructura reservante, inmediatamente donde termina el pedúnculo, y extendiendo el metro plegable lo largo, terminando la lectura en la parte distal de este órgano.

La resistencia a la extracción (Re), medido con un dinamómetro de capacidad 240 kg, el instrumento se dispone en una barra de metal, a la que le es acoplado el peso en el centro de ésta sujetado con cuerdas en la parte superior; en la parte inferior la cuerda se ata al tallo principal de la planta, dos personas se encargan de aplicar la fuerza en los extremos de la palanca hasta lograr extraer el conjunto de raíces, registrándose la lectura en la cual la aguja del dispositivo de pesaje desciende en su punto máximo.

Coefficiente de fricción estático, se coloca una superficie de acero completamente limpia y nivelada, a través de un nivel de burbuja. Una mesa basculante, construida en el Departamento de ingeniería mecánica de la Universidad Politécnica Territorial José Antonia Anzoátegui (UPTJAA). La superficie de ensayo se fija a la mesa y cada probeta de yuca (20 en total), son colocadas en la superficie; la mesa es inclinada lentamente, por un dispositivo atornillado, hasta que el movimiento de la muestra inicie movimiento hacia abajo. La tangente del ángulo de fricción es el coeficiente de fricción, según la expresión 1.

$$f = \tan \alpha \quad (1)$$

donde:

f - Coeficiente de fricción estático;

α - ángulo de fricción estático de la raíz.

Resistencia a la compresión (F) y Resistencia a la ruptura (Rr), la máquina utilizada para tomar las medidas de los módulos de compresibilidad de marca GRIFFIN®, se maneja en condiciones de carga expresadas en kgf, para distinguirlas de las unidades de masa. Este dispositivo está calibrado en una relación de 50 rpm (50 vueltas de la manivela = 0,1mm). Las probetas son de forma cilíndrica, de dimensiones: longitud: 21,4 mm y diámetro: 10,8 mm (Figura 1); previamente descortezadas, y elaboradas con un dispositivo metálico para conservar medidas aproximadas de cada una, trabajadas a temperatura ambiente.

Cada probeta se coloca apoyada en una de sus caras entre las placas de compresión de dos discos de acero inoxidable, cada una se

branches, including the leaves, are weighed and the unitary measurements are noted in kg per plant.

The estimation of the root set diameter (Dcr) is determined by placing the set on a grid of 1 x 1m proportions, with measurements marked in centimeters on its bars. Once the whole plant is positioned vertically, the outline is marked and the dimensions are acquired in at least three equidistant points by using a tape measure.

The maximum root length (Lrm) is measured with a meter graduated in centimeters, by placing the ruler from the basal part of the reservoir structure, immediately where the peduncle ends, and extending the folding meter over the length, ending the reading in the distal part of this organ.

The resistance to extraction (Re) is measured with a dynamometer of 240 kg capacity. The instrument is placed in a metal bar, to whose center the weight is coupled and fastened with cords in the upper part. In the lower part the rope is attached to the main stem of the plant. Two people apply a force at the ends of the lever until the root set is extracted, registering the reading in which the needle of the weighing device descends at its peak.

Coefficient of static friction. A completely clean tilting table is used, which is bolted to the side by placing a steel surface together with a level-angle conveyor using a bubble level, then each cassava sample (20 in total) is placed indistinctly on it. The table is tilted slowly until the sample starts moving downward, the movement is stopped and the reading of the rotated angle is taken. The tangent of the obtained angle is the coefficient of friction, according to the expression 1

$$F = \tan \alpha \quad (1)$$

where:

F - coefficient of static friction;

A - static friction angle of the root.

Resistance to compression (F) and Resistance to rupture (Rr). The device used to measure GRIFFIN® brand compressibility modules, is set under load conditions expressed in kgf to distinguish them from mass units. This device is calibrated in a ratio of 50 rpm (50 crank turns = 0.1mm). The test pieces are cylindrical and 21.4 mm length and 10.8 mm diameter (Figure 1). They are previously debarked, and made with a metallic device to preserve approximate measures of each, worked at room temperature.

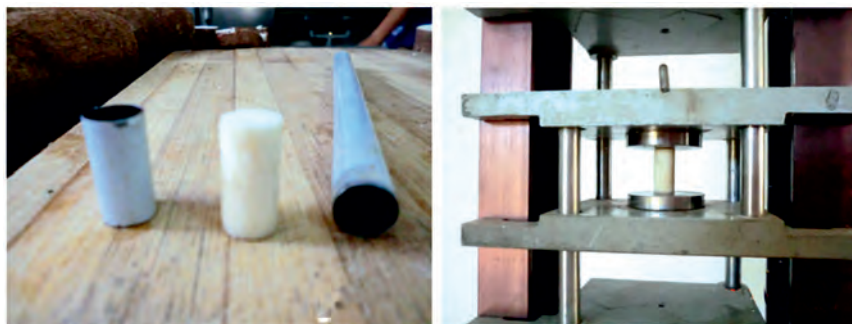


FIGURE 1. Test piece example according to dimensions and characteristics for both varieties.
FIGURA 1. Ejemplo de probeta según las dimensiones y características para ambas variedades.

comprime a una velocidad constante, el comportamiento mecánico se expresa en términos de fuerza requerida para alcanzar el punto de ruptura (R_r), y la fuerza empleada en comprimir el 3% de su longitud (F) (Yirat *et al.*, 2009). Las lecturas del recorrido del disco superior de forma descendente sobre la probeta, son registradas por un dinamómetro digital (encerado en cada medida), acoplado al aparato. Con la ayuda de dos cámaras de video, marca Samsung® se graba cada prueba; simultáneamente, se proyectan las lecturas del dinamómetro y el recorrido de la manivela, en la pantalla de la computadora, a través de un Software de videos, hasta que el sonido de clic, anuncia el punto de ruptura, y luego, el descenso de la fuerza. Estos videos son accionados a la vez, al momento de registrar las lecturas en libros de Excel.

Resistencia a la penetración de la corteza (R_c): la resistencia a la penetración es medida con un Penetrómetro manual marca GRIFFIN® montado en un soporte para mantener la coherencia, realizándose una punción por probeta de corteza de raíz de yuca, de 25 x 65 mm aproximadamente, previamente lavadas, para evitar que las impurezas minimicen el grado de error en las medidas. Se sostiene la muestra contra un disco en una superficie estacionaria y se ejerce una fuerza en la sección de la corteza, a una velocidad uniforme, (Figura 2). La profundidad de penetración debe guardar relación con la línea inscrita en la punta. La unidad que expresa el valor obtenido, se expresa en libra-fuerza (lbf) o kilogramos-fuerza (kgf).

Each test piece is placed on one of its faces between the compression plates of two stainless steel discs, each one being compressed at a constant speed, the mechanical behavior is expressed in terms of the force required to reach the point of rupture (R_r), and the force used to compress 3% of its length (F) (Yirat *et al.*, 2009). The readings of the upper disc descendant trajectory on the test piece are recorded by a digital dynamometer (waxed at each measurement) coupled to the apparatus. With the help of two video cameras, Samsung® brand every test is recorded. Simultaneously, the dynamometer readings and crank trajectory are projected on the computer screen through video software until the clicking sound announces the breaking point, and then the decline of the force. These videos are triggered at the same time, when recording the readings in Excel books.

Bark penetration resistance (R_c): The penetration resistance is measured with a GRIFFIN® branded Penetrometer mounted on a support to maintain consistency, performing a puncture per test piece of cassava root bark of 25 x 65 mm, previously washed, to avoid impurities minimize the degree of error in the measures. The sample is held against a disk on a stationary surface and a force is exerted on the section of the bark at a uniform speed (Figure 2). The depth of penetration must be related to the line inscribed on the tip. The value obtained is expressed in pound-force (lbf) or kg-force (kgf).

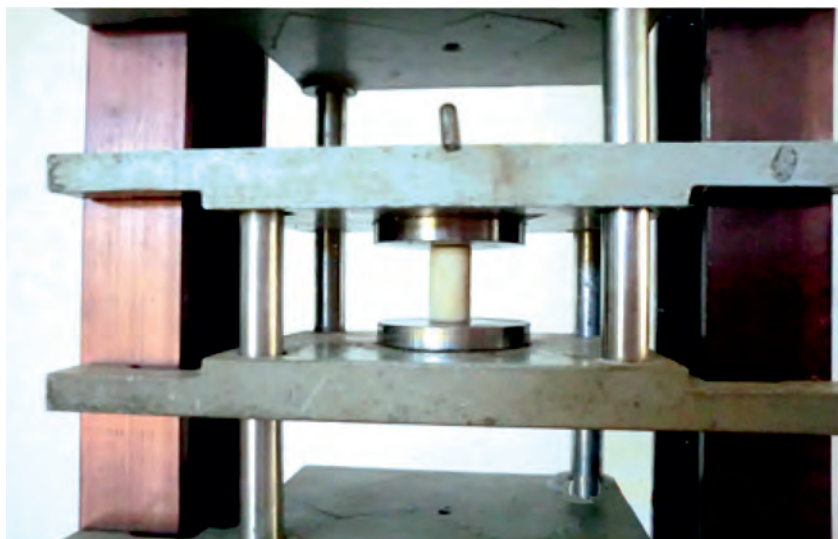


FIGURE 2. Device used for mechanical tests.
FIGURA 2. Máquina empleada durante los ensayos mecánicos.

Metodología para el procesamiento y análisis de datos obtenidos

Los datos obtenidos de las pruebas experimentales son tabulados utilizando la herramienta Excel 7.0 de Microsoft office 7, y posteriormente serán procesados a través del software especializado STATGRAPHIC 5.1 (Statistical Graphics Crop, 2000), para comparar los estadígrafos principales de cada una de las propiedades estudiadas en ambas variedades. Debido a la importancia de estudiar con mayor profundidad la información relacionada con el rendimiento de cada variedad y para la mecanización y procesamiento agroindustrial de este cultivo, a las propiedades físicas que caracterizan fenotípicamente cada variedad se le aplica una

Methodology for processing and analysis of data obtained

The data obtained from the experimental tests are tabulated using Excel 7.0 tool of Microsoft office 7, and they will be later processed through the specialized software STATGRAPHIC 5.1 (Statistical Graphics Crop, 2000), to compare the main statistics of each of the studied properties in both varieties. Due to the importance of studying in greater depth the information related to the yield of each variety and for the mechanization and agro-industrial processing of this crop, the physical properties that characterize phenotypically

comparación de medias o prueba de hipótesis buscando diferencias significativas entre ambas variedades, a través de las opciones tabulares dentro de este análisis y la presentación visual de la dispersión y la simetría de los datos analizados comparación. También se realiza un análisis de la asimetría y la curtosis estandarizadas para discernir si las muestras proceden de distribuciones normales siempre que su rango se encuentre entre -2 y 2.

La dependencia entre aquellas variables que mayor incidencia tienen en la mecanización del proceso productivo de la yuca será también objeto de estudio aplicando un análisis de regresión simple.

RESULTADOS Y DISCUSION

Propiedades Mecánicas

La Tabla 1 muestra los resultados de las pruebas de propiedades mecánicas efectuadas. Se observan que no existe variabilidad importante entre los clones caracterizados en cuanto a los valores medios de densidad, estimándose para los cultivares dulces y amargos valores de: 1,07 y 1,14 g/cm³.

El *coeficiente de fricción* obtenido para la yuca sin corteza en contacto con el acero, arrojó datos similares, de 0,41 y 0,39 entre una

each variety a comparison of means or test of hypothesis is applied to determine significant differences between both varieties, through the tabular options within this analysis and the visual presentation of the dispersion and symmetry of the data analyzed. An analysis of standardized asymmetry and kurtosis is also performed to determine whether samples come from normal distributions provided their range is between -2 and 2.

The dependence between the variables that have the greatest impact on the mechanization of the cassava production process will also be studied by applying a simple regression analysis.

RESULTS AND DISCUSSION

Mechanical properties

Table 1 shows the results of the mechanical properties tests performed. It is observed that there is no significant variability among the clones characterized in terms of mean values of density, with estimated of 1.07 and 1.14 g / cm³ for sweet and bitter cultivars, respectively.

TABLE 1. Mechanical properties of the varieties studied
TABLA 1. Propiedades mecánicas de las variedades estudiadas

Variedad	Mtp (kg)	Dcr (m)	Lmr (m)	F (MPa)	Rr (MPa)	Rrc (MPa)	μ	Re kN
La Reyna	11,26	0,92	0,61	0,25	0,90	5,71	0,41	0,83
Paigua N	5,63	0,55	0,36	0,29	0,63	3,96	0,39	0,34

y otra variedad encontrándose valores de productos agrícolas que oscilan entre 0,30 hasta 0,65, de acuerdo a diferentes superficies de rozamiento (Padonou *et al.*, 2005); esto indica que durante el diseño de máquinas puede ser empleado el mismo criterio como supuesto de que la tecnología puede trabajar con ambas variedades satisfactoriamente, ello está en correspondencia con lo investigado por Abbott (1999), Yang *et al.* (2008), y otros². En sentido general los datos de las propiedades físico-mecánicas determinan la tecnología de cosecha, transporte, embalaje y almacenamiento (Famá *et al.*, 2006).

Los resultados muestran que la resistencia promedio a la **penetración de la corteza**, fue mayor en la dulce de (5,71 MPa) que en la amarga (3,96 MPa), mostrando así que la primera supera a la segunda en 30%, por tanto ante labores mecanizadas La Reyna tiene mayores posibilidades de no sufrir daños mecánicos, sin embargo una maquina peladora demandará mayores requerimientos energéticos para la variedad dulce ya que supera a la amarga en tamaño, proporción en peso de la cáscara, diámetro, fuerza de penetración y el estrés de cizallamiento de su corteza, en relación con lo evaluado por Adetan *et al.* (2003).

Al analizar la **firmeza (F)** por variedades, al comprimir el 3% de la longitud de la probeta la yuca amarga con (0,29 MPa) supera a la dulce (0,25 MPa) en 13,8% mientras que en la **resistencia a la rotura (Rr)**, se invierte el comportamiento y esta última alcanza valores de 0,90 MPa, mientras que la primera solo alcanza 0,63. En dicho comportamiento, a pesar de que ambas raíces presentan un tejido ligeramente fibroso, muestra que la yuca amarga responde

The coefficient of friction obtained for the cassava without bark in contact with the steel yielded similar data of 0.41 and 0.39 between the two varieties, which coincides with values reported for agricultural products that range from 0.30 to 0.65 according to different friction surfaces (Padonou *et al.*, 2005). That indicates that during the design of machines it can be assumed that the technology can work with both varieties satisfactorily, like Abbott (1999), Yang *et al.* (2008), and others stated². In general, the data of the physical-mechanical properties determine the technology of harvest, transport, packing and storage (Famá *et al.*, 2006).

The results showed that the average resistance to bark penetration was higher in sweet (5.71 MPa) than in bitter (3.96 MPa), thus showing that the former surpasses the latter in 30%. Therefore, La Reyna has a greater possibility of not suffering mechanical damages while mechanized tasks. However, a peeling machine will demand greater energetic requirements for the sweet variety since it surpasses the bitter one in size, proportion in weight of the bark, diameter, and force of penetration and bark shear stress, in relation to the evaluations of Adetan *et al.* (2003).

Analyzing firmness (F) per varieties, when compressing 3% of the length of the test tube, bitter cassava with 0.29 MPa exceeds sweet (0.25 MPa) in 13.8%. In breaking strength

² VILLASEÑOR, C.: Análisis físico y mecánico de frutos de melón, Colegio de Posgraduados, Tesis de Doctorado, Texcoco, México, 2005.

como una estructura más frágil, lo que a su vez propicia que sea menos resistente a golpes y al corte. Estos resultados influyen en la manipulación del producto y en su respuesta en relación con los daños mecánicos, como expresa Mohsenin (1970), acerca de materiales biológicos cuando están bajo el efecto de cargas estáticas y dinámicas.

La resistencia a la extracción (Re) desde el suelo, necesaria en la variedad La Reyna (0,83 kN) supera en 59,03% a la de la Paigua Negra (0,34 kN). Existen varios factores que inciden en este resultado, pero partiendo de que el suelo es similar, tipo Oxisol, que una parcela está a 20 m de la otra, entonces se le atribuye el mismo a la diferencia en el diámetro del conjunto raíz y su masa, el número de raíces y la talla de esta. Teniendo en cuenta la explicación anterior a cada propiedad evidentemente no debe ser de otra forma por la superioridad de La Reyna en cuanto a las variables mencionadas anteriormente. Esta propiedad define los requerimientos de potencia del agregado o de la máquina encargada de la cosecha, el costo de la tecnología y otros aspectos más específicos que dependen de ellos como es consumo de combustible, etc. La dependencia entre la resistencia a la extracción y las propiedades mencionadas anteriormente fue evaluada estadísticamente y los resultados ratifican una fuerte dependencia entre ellas (Figuras 3; 4; 5 y 6) para ambas variedades estudiadas, predominando una dependencia descrita por modelos exponenciales y polinómicos.

Comportamiento de las propiedades estudiadas en las variedades La Reyna y Paigua Negra

Masa total de la planta (Mtp)

El análisis demuestra que los valores de la Masa total de la planta se distribuyen normalmente y la diferencia entre las medias, demuestra que existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras, para un nivel de confianza de 95%. Estos resultados pueden ser corroborados además teniendo en cuenta los valores medios de masa total de la planta de 11,28 y 5,63 kg para las variedades La Reyna y Paigua Negra respectivamente, por otro lado la diferencia alcanzada según los coeficientes de variación de

(Rr), the behavior is reversed and the latter reaches values of 0.90 MPa, while the first only reaches 0.63. In this behavior, although both roots present a slightly fibrous tissue, it is shown that the bitter cassava responds as a more fragile structure, that it is less resistant to hits and to the cut. These results influence the manipulation of the product and its response in relation to mechanical damages, as Mohsenin (1970) expresses, about biological materials when they are under the effect of static and dynamic loads.

Behavior of the properties studied in the varieties La Reyna and Paigua Negra

Total mass of plant (Mtp)

The analysis shows that the values of the total mass of the plant are normally distributed and the difference between the means shows that there is a statistically significant difference between the means of the two samples, for a confidence level of 95%. These results can also be corroborated taking into account the average values of total mass of the plant of 11.28 and 5.63 kg for the varieties La Reyna and Paigua Negra, respectively. On the other hand, the difference reached according to the coefficients of variation of the data analyzed is 10.7%. Figure 3a shows that there is a slightly higher dispersion in the data of this property for Paigua Negra variety, whereas there was a greater frequency of plants with total mass between 5 and 8 kg in the Paigua Negra variety and between 10 and 13 Kg in La Reyna (Figure 3b).

The total mass of the plant is a parameter of great importance during the extraction of the roots from the ground. It will determine the power of the machine to be used, as well as the resistance and material to be used in the organs that make the ground-root contact.

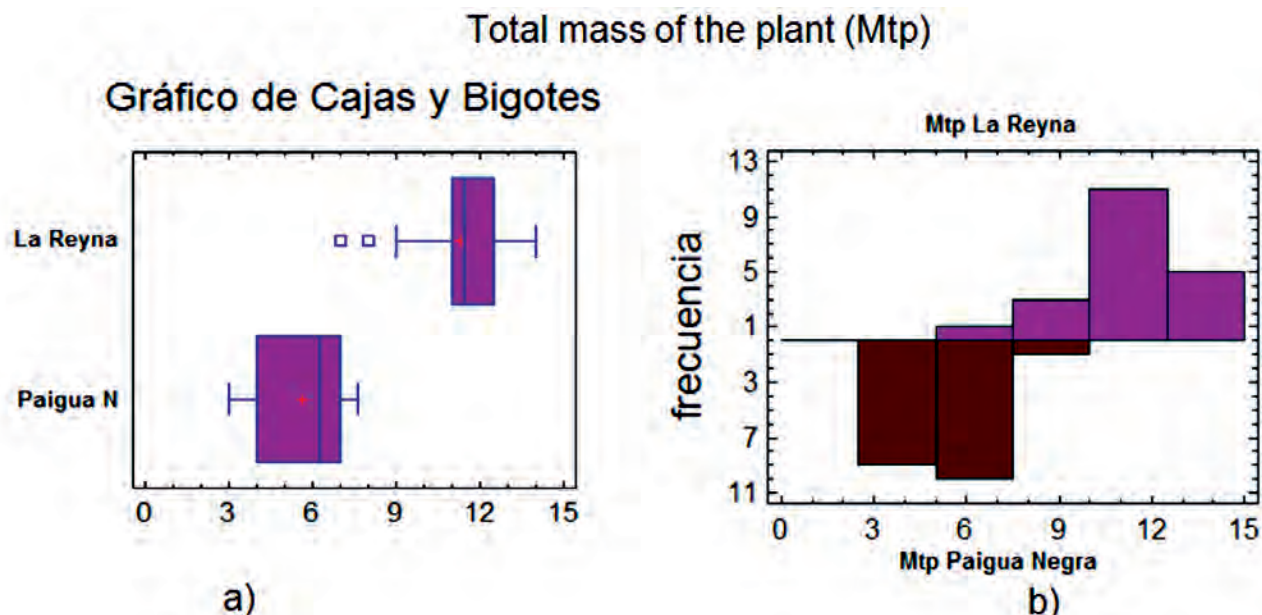


FIGURE 3. Dispersion of the data around the mean values (a) and frequency of appearance of the different masses according to the varieties studied (b).
 FIGURA 3. Dispersión de los datos alrededor de los valores medios (a) y frecuencia de aparición de las diferentes masas según las variedades estudiadas (b).

los datos analizados es de 10,7%. La Figura 3a, muestra que existe una dispersión ligeramente superior en los datos de dicha propiedad para la variedad Paigua Negra, mientras que fue encontrada una mayor frecuencia de plantas con masa total entre 5 y 8 kg en la variedad Paigua Negra y entre 10 y 13 kg en La Reyna (Figura 3b).

La masa total de la planta es un parámetro de gran importancia durante la extracción de las raíces desde el suelo, de este elemento dependerán la potencia de la máquina a emplear, así como la resistencia y material a emplear en los órganos que realicen el contacto suelo-raíces.

Longitud máxima de la raíz (Lrm)

Los valores promedios de la longitud de la raíz máxima alcanzan valores de 0,061 y 0,036 m para La Reyna y la Paigua Negra respectivamente, la Figura 4a, muestra una dispersión muy similar en los datos de ambas variedades, de igual manera se puede decir que existe una mayor frecuencia de raíces con longitud entre 0,055 y 0,067 m en La Reyna, mientras que oscila de 0,027 a 0,040 en la Paigua Negra (Figura 4b). Los coeficientes de variación alrededor de la media alcanzan valores de 13 y de 23,6% respectivamente, con una diferencia además entre ambos de 10,3%. La longitud de la raíz máxima es una variable que distribuye normalmente para ambas variedades y existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras para un nivel de confianza del 95,0%. La longitud de la raíz máxima y la variación que se manifiesta estadísticamente entre las longitudes de las raíces para cada variedad es un aspecto de gran importancia para la mecanización de la extracción de la yuca desde el suelo, ello va a definir el ancho de trabajo de las máquinas y de los contenedores para el traslado del producto desde el campo.

Diámetro medio del conjunto raíz (Dcr)

El diámetro del conjunto raíz (Dcr) como promedio alcanza valores de 0,918 y 0,545 m para las variedades La Reyna y Paigua Negra respectivamente, la Figura 5a, muestra una dispersión superior de los datos de la variedad Paigua Negra, de igual manera se puede decir que existe una mayor frecuencia de plantas con diámetros radicular 0,8 y 1,0 m en La Reyna, mientras que oscila de 0,4 a 0,6 m en la Paigua Negra (Figura 5b). Los coeficientes de variación alrededor de la media alcanzan valores de 8,9 y de 22,66% respectivamente, con una diferencia además entre ambos de 13,7%. El diámetro del conjunto raíz es una variable que distribuye normalmente para ambas variedades y existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras para un nivel de confianza del

Maximum root length (Lrm)

The average values of the maximum root length reach values of 0.061 and 0.036 m for La Reyna and Paigua Negra, respectively. Figure 4a, shows a very similar dispersion in the data of both varieties. Likewise, it can be said that there is a greater frequency of roots with length between 0.055 and 0.067 m in La Reyna, while it ranges from 0.027 to 0.040 in Paigua Negra (Figure 4b). The coefficients of variation around the mean reached values of 13 and 23.6%, respectively, with a 10.3% difference between both of them. The maximum root set length is a variable that normally distributes for both varieties and there is a statistically significant difference between the means of the two samples for a confidence level of 95.0%. The maximum root length and the variation, that is manifested statistically, between the lengths of the roots for each variety, is an aspect of great importance in cassava extraction mechanization, and it will define the working width of the machines and of the containers to transfer the product from the field.

Mean root set diameter (Dcr)

The mean root set diameter (Dcr) reaches values of 0.918 and 0.545 m for the varieties La Reyna and Paigua Negra, respectively. Figure 5a, shows a superior dispersion of the data of Paigua Negra variety. It can be said that there is a higher frequency of plants with 0.8 and 1.0 m radicular diameters in La Reyna, while it ranges from 0.4 to 0.6 m in the Black Paigua (Figure 5b). The coefficients of variation around the mean reached values of 8.9 and 22.66%, respectively, with a difference between both of them of 13.7%. The root set diameter is a normally distributed variable for both varieties and there is a statistically significant difference between the means of the two samples for a 95.0% confidence level. This variable is of great significance for this tuberous root harvest mechanization due to according to the diameter it is determined the area covered by the plant below the ground and thus the working width of the extraction tool, and the power required to achieve the proper operation of the machine or the aggregate according to the technology used.

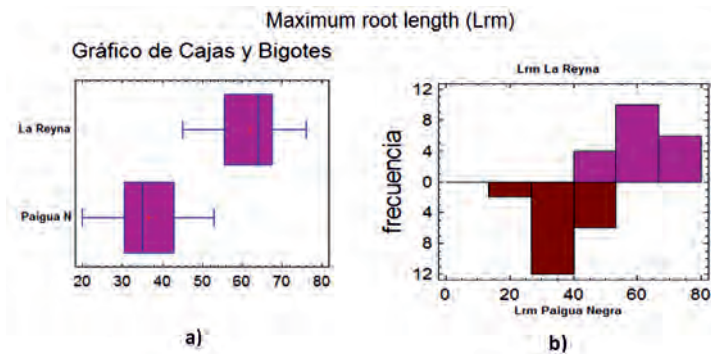


FIGURE 4. Dispersion of the data around the mean values (a) and frequency of appearance of the different maximum root lengths (Lrm) according to the varieties studied (b).

FIGURA 4. Dispersión de los datos alrededor de los valores medios (a) y frecuencia de aparición de las diferentes longitudes de raíz máxima (Lrm) según las variedades estudiadas (b).

95,0%. Esta variable es de gran significación para la mecanización de la cosecha de esta raíz tuberosa ya que en función del diámetro se determina al área que abarca la planta debajo del suelo y de esta forma el ancho de trabajo de la herramienta de extracción, y la potencia necesaria para lograr el funcionamiento adecuado de la máquina o del agregado según la tecnología que se emplee.

La *masa total de la planta* y del *conjunto tallo raíz* es superior en la variedad La Reyna que en la Paigua Negra en correspondencia con lo descrito anteriormente para cada propiedad analizada. A pesar de que no existe diferencia significativa entre el número de raíces por planta para cada variedad, las dimensiones (diámetro y longitud) y por consiguiente, la masa es mayor en la variedad La Reyna, lo que constituye un importante indicador de productividad. Ambas propiedades mencionadas son de gran importancia ante cualquier intento de mecanización de la extracción de esta importante raíz y se manifiesta en una marcada dependencia entre la masa de la planta y de la raíces respecto a la resistencia a la extracción que ambas ofrecen, con

The total mass of the plant and of the stem root set are higher in La Reyna variety than in Paigua Negra, in correspondence with that previously described for each property analyzed. Although there is no significant difference between the number of roots per plant for each variety, the dimensions (diameter and length) and therefore, the mass is higher in the variety La Reyna, which is an important indicator of productivity. Both properties mentioned are of great importance to any attempt to mechanize the extraction of this important root and it is manifested in a marked dependence between the mass of the plant and the roots, with respect to the resistance to extraction that both offer, with values of R^2 above 0.73, (Figures 6 and 7).

The greatest dependence was found between the mass of the stem root set and the resistance to extraction in Paigua Negra variety with R^2 value of 0.83, in all cases according to the models obtained, it describes an exponential dependence of a variable with respect to the other.

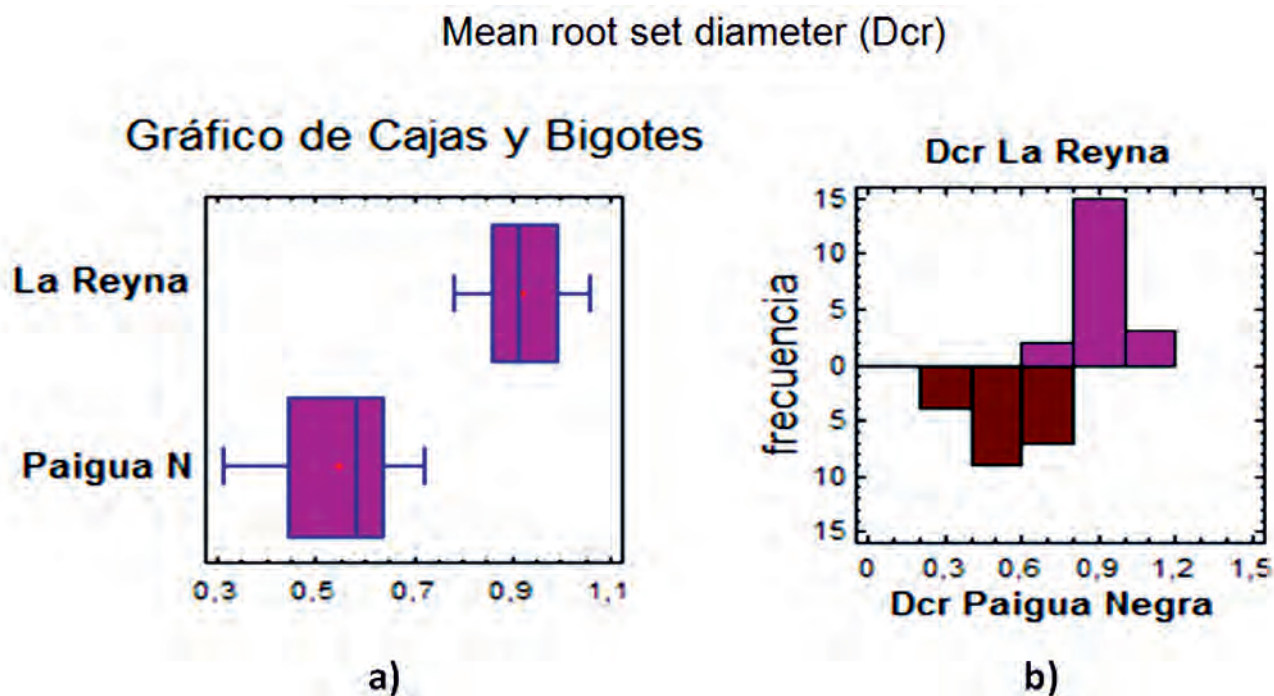


FIGURE 5. Dispersion of the data around the mean values (a) and frequency of occurrence of the different root diameter per plant (Dcr) according to the varieties studied (b).

FIGURA 5. Dispersión de los datos alrededor de los valores medios (a) y frecuencia de aparición de las diferentes diámetro del conjunto raíz por planta (Dcr) según las variedades estudiadas (b).

valores de R^2 por encima de 0,73, (Figuras 6 y 7).

La mayor dependencia fue encontrada entre la masa del conjunto tallo raíz y la resistencia a la extracción en la variedad Paigua Negra con valor de R^2 de 0,83, en todos los casos según los modelos obtenidos describe una dependencia exponencial de una variable con respecto a la otra.

De igual manera la masa del conjunto raíz, dado por las mismas razones expuestas anteriormente es superior en el clon La Reyna, esta propiedad en ambos clones muestra una fuerte dependencia con respecto a la resistencia a la extracción cuyos coeficientes de determinación que superan el 0,70 (Figura 8).

En dicha variedad explícitamente se manifiesta una dependencia lineal entre la masa del conjunto raíz y la resistencia que este

Similarly, the mass of the root set is higher in the La Reyna clone due to the same reasons above mentioned. This property in both clones shows a strong dependence on the resistance to the extraction whose determination coefficients are higher than 0.70 (Figure 8).

In this variety, a linear dependence is manifested between the mass of the root set and the resistance that it offers to be extracted from the field, given by the equation that characterizes the linear model with an R^2 of 0.72, while for the clone Paigua Black it is modified by changing the other and accordingly to a model described by an exponential equation with R^2 of 0.77.

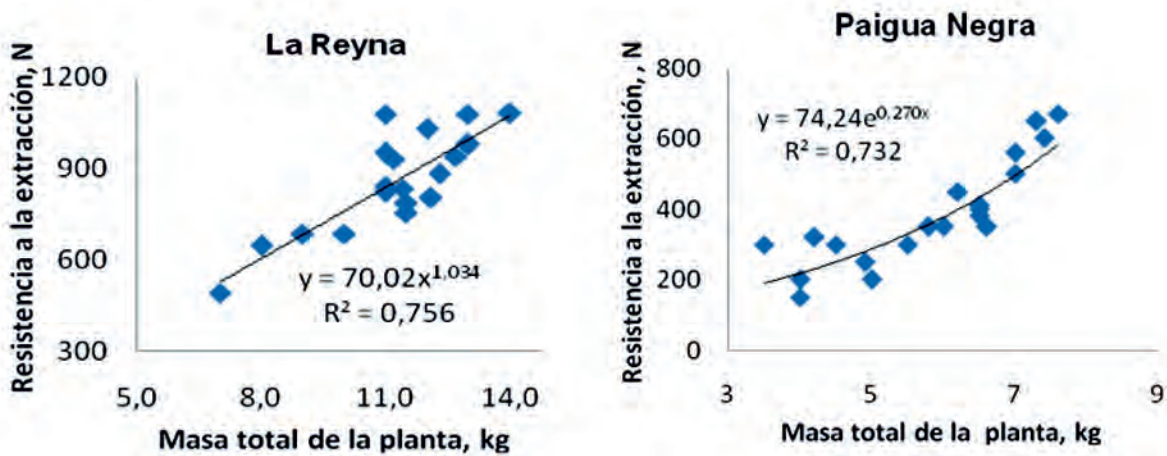


FIGURE 6. Relationship among the Resistance to the extraction and the Total Mass of the plant in the varieties studied.
 FIGURA 6. Relación entre la Resistencia a la extracción y la Masa Total de la planta en las variedades estudiadas.

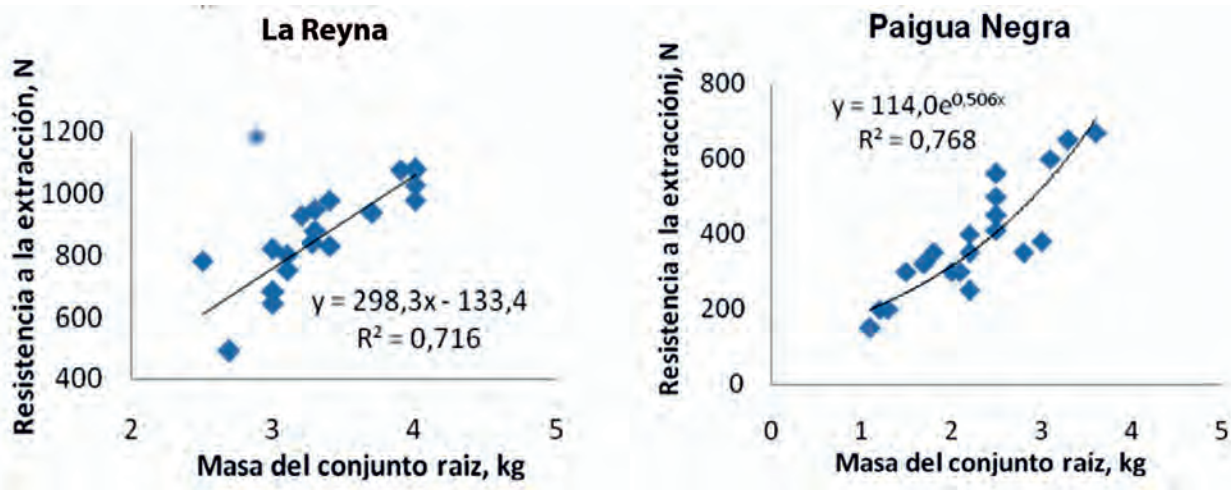


FIGURE 7. Relationship among the Resistance to the extraction and the Mass of the stem-root set in the varieties studied.
 FIGURA 7. Relación entre la Resistencia a la extracción y la Masa del conjunto tallo raíz en las variedades estudiadas.

ofrece a ser extraída del campo, dada por la ecuación que caracteriza el modelo lineal con un R^2 de 0,72, mientras que para el clon Paigua Negra se modifica ante el cambio de la otra respondiendo a un modelo descrito por una ecuación exponencial con R^2 de 0,77.

CONCLUSIONES

- La variedad Paigua Negra posee propiedades ligeramente superiores sobre la variedad La Reyna para la mecanización y/o procesamiento de su cultivo con un menor el peso total de la planta, diámetro del conjunto raíz y resistencia a la extracción desde el suelo, sin embargo La Reyna posee mayor resistencia a la compresión y a la ruptura de la corteza con valores superiores en un 30%.
- La comparación de medias muestra diferencias significativas en propiedades como la masa total de la planta (Mtp) de 11,28 y 5,63 kg; longitud de la raíz máxima (Lrm) de 0,061 y 0,036 m; diámetro del conjunto raíz (Dcr) de 0,918 y 0,545 m, para las variedades La Reyna y Paigua Negra, respectivamente.
- Los valores de resistencia a la extracción muestran una elevada dependencia de la masa de la planta y longitud de la raíz mayor con valores de R^2 superiores a 0,70 para ambas variedades.

CONCLUSIONS

- The Paigua Negra variety possesses slightly superior properties compared to La Reyna variety for the mechanization and / or processing of its cultivation with a minor total weight of the plant, diameter of the root set and resistance to the extraction from the ground, however La Reyna Has greater resistance to compression and rupture of the bark with values higher by 30%.
- The comparison of means shows significant differences in properties such as the Total mass of the plant (Mtp) of 11.28 and 5.63 kg; Maximum root length (Lrm) of 0.061 and 0.036 m; Diameter of the root set (Dcr) of 0.918 and 0.545 m, for La Reyna and Paigua Negra varieties, respectively.
- The values of resistance to the extraction show a high dependence on the plant mass and on the greatest root length, with values of R^2 higher than 0.70 for both varieties.

REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOTT, J.A.: "Quality measurement of fruits and vegetables", *Postharvest Biology and Technology*, 15(3): 207-225, 1999, ISSN: 0925-5214, DOI: 10.1016/S0925-5214(98)00086-6.
- ADETAN, D.; ADEKOYA, L.O.; ALUKO, O.B.: "Characterisation of some properties of cassava root tubers", *Journal of Food Engineering*, 59(4): 349-353, 2003, ISSN: 0260-8774, DOI: 10.1016/S0260-8774(02)00493-4.
- ALARCÓN, F.; DUFOUR, D.: *Almidón agrario de yuca en Colombia*, [en línea], Ed. CIAT, Colombia, No. 268, 1998, ISBN: 958-9439-67-5, Disponible en: <http://www.clayuca.org/sitio/index.php/component/k2/item/28-almid%C3%B3n-agrario-de-yuca-en-colombia>, [Consulta: 21 de noviembre de 2016].
- ENGELS, J.: *Catálogo de la colección de yuca (Manihot esculenta Crantz)*, Ed. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 40 p., 1981.
- FAMÁ, L.; FLORES, S.; GERSCHENSON, L.; GOYANES, S.: "Physical characterization of cassava starch biofilms with special reference to dynamic mechanical properties at low temperatures", *Carbohydrate Polymers*, 66(1): 8-15, 2006, ISSN: 0144-8617, DOI: 10.1016/j.carbpol.2006.02.016.
- FAO: "FAOSTAT", [en línea], 2010, Disponible en: <http://faostat3.fao.org/home/E>, [Consulta: 10 de abril de 2015].
- HENRY, G.; WESTBY, A.; COLLINSON, C.: *Global cassava end-uses and markets: current situation and recommendations for further study*, [en línea], Inst. FAO-ESCB, Report of a FAO consultancy by the European Group on Root, Tuber & Plantain, Roma, Italia, p. 58, 1998, Disponible en: http://www.hubrural.org/IMG/pdf/global_cassava_end_use_study.pdf, [Consulta: 21 de noviembre de 2016].
- KAEWATIP, K.; TANRATTANAKUL, V.: "Structure and properties of pregelatinized cassava starch/kaolin composites", *Materials & Design*, 37: 423-428, 2012, ISSN: 0261-3069, DOI: 10.1016/j.matdes.2011.12.039.
- MARAN, J.P.; SIVAKUMAR, V.; THIRUGNANASAMBANDHAM, K.; SRIDHAR, R.: "Degradation behavior of biocomposites based on cassava starch buried under indoor soil conditions", *Carbohydrate Polymers*, 101: 20-28, 2014, ISSN: 0144-8617, DOI: 10.1016/j.carbpol.2013.08.080.
- MOHSENIN, N.N.: "Physical properties of plant and animal materials", [en línea], En: *Structure, physical characteristics and mechanical properties*, Ed. Gordon & Breach Science Publishers Inc., vol. 1, New York, USA, pp. 587-593, 1970, ISBN: 677023006, Disponible en: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19720401916>, [Consulta: 21 de noviembre de 2016].
- MOJENA, M.; BERTOLÍ, M.P.: "Rendimiento en la yuca (*Manihot esculenta*) en diferentes arreglos espaciales", *Agronomía Costarricense*, 28(2): 87-94, 2004, ISSN: 0377-9424.
- OSPINA, B.; CEBALLOS, H.: *La Yuca en el Tercer Milenio: Sistemas Modernos de Producción, Procesamiento, Utilización y Comercialización*, [en línea], Ed. CIAT, Cali, Colombia, 587 p., Google-Books-ID: I18Dz9sYZO8C, 2002, ISBN: 978-958-694-043-6, Disponible en: <https://books.google.com/cu/books?id=I18Dz9sYZO8C>, [Consulta: 21 de noviembre de 2016].
- PADONOU, W.; MESTRES, C.; NAGO, M.C.: "The quality of boiled cassava roots: instrumental characterization and relationship with physico-chemical properties and sensorial properties", *Food Chemistry*, 89(2): 261-270, 2005, ISSN: 0308-8146, DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.02.033.
- RUIZ-ALTISENT, M.; CHEN, P.: "A low-mass impact sensor for high-speed firmness sensing of fruits.", [en línea], En: *AgEng 96 European Society of Agricultural Engineers Conference*, *Eng 96 European Society of Agricultural Engineers Conference*, Ed. E.T.S.I. Agrónomos (UPM), Madrid, España, 1996, Disponible en: <http://oa.upm.es/23238/>, [Consulta: 21 de noviembre de 2016].
- SALGADO, P.R.; SCHMIDT, V.C.; MOLINA ORTIZ, S.E.; MAURI, A.N.; LAURINDO, J.B.: "Biodegradable foams based on cassava starch, sunflower proteins and cellulose fibers obtained by a baking process", *Journal of Food Engineering*, 85(3): 435-443, 2008, ISSN: 0260-8774, DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2007.08.005.
- SOUZA, A.C.; BENZE, R.; FERRÃO, E.S.; DITCHFIELD, C.; COELHO, A.C.V.; TADINI, C.C.: "Cassava starch biodegradable films: Influence of glycerol and clay nanoparticles content on tensile and barrier properties and glass transition temperature", *LWT - Food Science and Technology*, 46(1): 110-117, 2012, ISSN: 0023-6438, DOI: 10.1016/j.lwt.2011.10.018.
- STATISTICAL GRAPHICS CROP: *STATGRAPHICS® Plus*, [en línea], (Versión 5.1), [Windows], ser. Profesional, 2000, Disponible en: <http://www.statgraphics.com/statgraphics/statgraphics.nsf/pd/pricing>.
- VERCELHEZE, A.E.S.; FAKHOURI, F.M.; DALL'ANTÓNIA, L.H.; URBANO, A.; YOUSSEF, E.Y.; YAMASHITA, F.; MALI, S.: "Properties of baked foams based on cassava starch, sugarcane bagasse fibers and montmorillonite", *Carbohydrate Polymers*, 87(2): 1302-1310, 2012, ISSN: 0144-8617, DOI: 10.1016/j.carbpol.2011.09.016.
- YANG, S.; PENG, J.; LUI, W.-B.; LIN, J.: "Effects of adlay species and rice flour ratio on the physicochemical properties and texture characteristic of adlay-based extrudates", *Journal of Food Engineering*, 84(3): 489-494, 2008, ISSN: 0260-8774, DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2007.06.010.
- YIRAT, B.M.; GARCÍA, P.A.; HERNÁNDEZ, G.A.; CALDERÍN, G.A.; CAMACHO, A.N.: "Evaluación de la calidad de la guayaba, variedad enana roja EEA-1-23, durante el almacenamiento a temperatura ambiente", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2): 70-73, 2009, ISSN: 1010-2760, 2071-0054.

Received: 22/12/2015.

Approved: 14/11/2016.

Annia García-Pereira, Profesora Titular, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Facultad de Ciencias Técnicas, Autopista Nacional km 231/2 y carretera de Tapaste, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. E-mail: annia@unah.edu.cu

Ellys Petrocelli, E-mail: ellyspetrocelli@gmail.com

Yolanda Sabín-Rendón, E-mail: yolanda@unah.edu.cu

Antihus Hernández-Gómez, E-mail: antihus@unah.edu.cu

Jorge García-Coronado, E-mail: jgarcia@unah.edu.cu

Note: the mention of commercial equipment marks, instruments or specific materials obeys identification purposes, there is not any promotional commitment related to them, neither for the authors nor for the editor.