

## Caracterización de algunas propiedades físico-mecánicas y químicas de la yuca (*Manihot esculenta Crantz*)



### Characterization of Some Physical-Mechanical and Chemical Properties of Cassava (*Manihot esculenta Crantz*)

<http://opn.to/a/yit36>

Dr.C. Carlos M. Martínez-Hernández <sup>I</sup>, Eng. Isys Brito-Castillo <sup>II</sup>

<sup>I</sup>Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Santa Clara. Villa Clara. Cuba.

<sup>II</sup>Ministerio de la Agricultura (MINAG), delegación Sancti Spiritus, Cuba.

**RESUMEN:** El trabajo abordó el estudio de algunas de las propiedades físico- mecánicas y químicas de un clon de yuca (*Manihot esculenta Crantz*), específicamente “Jagüey Dulce” perteneciente a un productor privado en el “Valle del Yabú” en el municipio de Santa Clara, provincia Villa Clara. Como objetivo del trabajo se planteó la posibilidad de evaluar algunas de sus propiedades físico- mecánicas y químicas de acuerdo con las normas establecidas para un óptimo manejo poscosecha. Se realizaron diversas pruebas experimentales de la variedad objeto de estudio en el laboratorio de Bromatología, en el Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) de nuestra facultad. Dentro de los principales resultados obtenidos se destacan: longitud 27,5 cm; circunferencia 16,0 cm; grosor de la cáscara 3,0 cm; grosor de la pulpa 50,0 cm (valores medios). Los sólidos solubles totales (SST) oscilaron entre 4,5 y 7,5 °Brix; el pH osciló entre 6,06 y 7,2. El contenido de humedad de la pulpa osciló alrededor de 54%; mientras en la cáscara este valor osciló en valores próximo a 67%. Los ensayos de impacto mostraron poca resistencia a impactos del orden de 2037,72 (J) a 3245,76 (J), con una susceptibilidad de 0,14 y 3,9 lo cual, unido a su poca vida de anaquel (3 días) debe ser tenido en cuenta en su manejo poscosecha. Los resultados fueron analizados mediante el paquete estadístico “STATISTICA 8.0”, y contrastados con investigaciones anteriores en este mismo cultivo en otros países del área.

**Palabras clave:** yuca, propiedades físico-mecánicas y químicas.

**ABSTRACT:** The work approached the study of some of the physical - mechanical and chemical properties of a cassava clone (*Manihot esculenta Crantz*), specifically "Sweet Jagüey", belonging to a private producer in the " Valle del Yabú", Santa Clara Municipality, Villa Clara Province. As objective of the work was to evaluate some of the physical - mechanical and chemical properties of cassava in accordance with the established norms for an optimal postharvest management. Diverse experimental tests of the variety to study in the Bromatology Laboratory, in Center of Agricultural Investigations (CIAP) of Universidad Central “Marta Abreu”. Among the main results obtained are longitude 27.5 cm; circumference 16.0 cm; thickness of the peel 3.0 cm; thickness of the pulp 50.0 cm (average values). The total soluble solids (SST) oscillated between 4.5 and 7.5 °Brix; the pH oscillates between 6.06 and 7.2. The content of humidity of the pulp oscillates around 54%; while in the peel this value oscillates around to 67%. The impact tests showed little resistance to impacts of the order of 2037.72 (J) to 3245.76 (J), with a susceptibility of 0.14 and 3.9 which, together to its short shelf life (3 days), should be kept in mind in its postharvest handling. The results were analyzed by means of the statistical package “STATISTICA 8.0”, and contrasted with previous investigations in this same cultivation in other countries of the area.

**Keywords:** cassava, physical-mechanical and chemical properties.

\*Autor para correspondencia: Carlos M. Martínez-Hernández, E-mail: [carlosmh@uclv.edu.cu](mailto:carlosmh@uclv.edu.cu)

Recibido: 17/04/2018

Aceptado: 25/02/2019

## INTRODUCCIÓN

La yuca es originaria de América tropical, antes de 1600. Su nombre científico es (*Manihot esculenta Crantz*) también conocida como mandioca, casava o casabe, es un arbusto perenne de la familia de las euforbiáceas, autóctona y extensamente cultivada en Sudáfrica y el Pacífico por su raíz almidonosa de alto valor alimentario. La yuca es endémica de la región subtropical de Bolivia, Brasil, Argentina, Perú, Ecuador y Paraguay aunque se estima que las variedades hoy conocidas son efecto de la selección artificial. Hoy día, la yuca está extendida en casi toda la región tropical del mundo ([Cevallos, 2002](#)). La yuca se siembra hoy en 92 países donde alimenta a más de 500 millones de personas. La yuca (*Manihot esculenta Crantz*) es una especie de raíces amiláceas que se cultivan en los trópicos y sub-trópicos, a pesar de que es uno de los cultivos alimenticios más importantes de los países tropicales, fuera de ellos es muy poco conocida. La yuca, como otros cultivos farináceos, es utilizada tanto en la alimentación humana como en la animal y en ambos casos se consume lo mismo fresca que seca. Esta se puede procesar de forma de harina o pellets. Para la alimentación humana y animal puede consumirse de diversas formas. También se pueden obtener más de 100 subproductos de alimento natural o ingredientes para panes y sustancias utilizados en la industria farmacéutica. Es bien conocido que los estudios relacionados con las propiedades físicas - mecánicas y químicas de los productos agrícolas pueden reportar información importante a la poscosecha tales como:

- Momento óptimo para la cosecha;
- Susceptibilidad a daños mecánicos;
- Vida de almacenamiento;
- Cualidades organolépticas entre otras.

Sin embargo en este cultivo no abundan investigaciones en este campo, aunque determinados autores [Adetan et al. \(2003\)](#); [Brito \(2017\)](#); [García et al. \(2017\)](#), reportan investigaciones en algunos de estos tópicos. Por otra parte, se conoce que en la esfera de la Ingeniería agrícola, estos elementos constituyen los datos primarios bases para el diseño y

construcción de maquinaria relacionada con la cosecha, manipulación, envase, transporte, almacenamiento y mercadeo de las producciones agrícolas.

Por esta razón, en este trabajo se planteó el siguiente objetivo general: evaluar algunos de los parámetros físicos-mecánicos y químicos de la yuca (*Manihot esculenta Crantz*) para un óptimo manejo poscosecha del producto.

## MÉTODOS

### Metodología empleada para determinar el tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra fue calculado utilizando el criterio de Student, reportado por [Carballo y Prado \(1980\)](#), para cada componente investigado. Se realizó un pre-experimento con un total de 15 yucas tomados al azar en el campo de un productor privado del territorio, motivado por algunas de las características físico-mecánicas y organolépticas de la variedad en estudio y su disponibilidad, entre las cuales se destacaron: el espesor de la cáscara, color y consumo específico de energía en la labor de cocción. Las muestras objeto de investigación fueron subdivididas en subgrupos de 3, estas muestras fueron monitoreadas en los días 1, 3, y 6 posterior a la cosecha, permitiendo observar el desarrollo y evolución de la raíz desde su cosecha hasta su estado de senescencia, además de permitir en cada etapa de desarrollo realizar las pruebas de sus propiedades físico, mecánicas y químicas. Un subgrupo de la muestra se colocó en el interior de un refrigerador, marca Haier, modelo HRF 25, durante 6 días, permitiendo comparar los cambios que ocurren entre los tubérculos que se encuentran en una atmósfera controlada a una temperatura de 4°C, con los conservados en condiciones normales de presión, humedad y temperatura. Estas investigaciones se realizaron en el Laboratorio de Bromatología, de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. El tamaño de la muestra se calculó para un error de la media menor de 5% y en un nivel de significación de 0,10.

### Metodología empleada para determinar el desarrollo de los tubérculos

Para la determinación del desarrollo de los tubérculos se mantuvo un seguimiento de las diferentes etapas de progreso del mismo, observando el intervalo de tiempo desde que comienza la formación de la yema floral, que se inicia con la diferenciación del cono de crecimiento hasta la maduración del fruto. Además de apoyarnos en bibliografía relacionada al tema de estudio, entrevistas con técnicos, obreros, ingenieros y personal calificado en la rama.

### Metodología para la determinación de las principales características físico-mecánicas en tubérculos

Estos análisis se desarrollaron en el laboratorio de Bromatología, en el Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) de nuestra facultad.

Según [Martínez \(2012\)](#), la metodología para la determinación de algunas de las características de las yucas se muestra a continuación:

#### Determinación de la longitud del tubérculo

Se determinó midiendo con una cinta métrica desde el extremo distal hasta el extremo proximal, dónde se considera que termina la pulpa.

#### Determinación de la circunferencia del tubérculo

La circunferencia del tubérculo se determinó midiendo la yuca con una cinta métrica en su punto más ancho.

#### Determinación del grosor de la cáscara y de la pulpa

Después de cortar transversalmente en el punto central, el tubérculo se pela y se mide la cáscara y la pulpa por separado con un pie de rey. La

sensibilidad (precisión) del instrumento fue de 0,01 mm.

### Determinación de la relación pulpa/cáscara

Se separan la pulpa y la cáscara, se pesan individualmente y se expresan como una relación pulpa/cáscara (es decir, el peso de la pulpa dividido entre el peso de la cáscara), para esto se utilizó una balanza marca Ferton, con precisión de 0,0001 g.

### Determinación del coeficiente de fricción estático y dinámico

Los coeficientes de fricción: se determinaron con la utilización de un aparato que porta un plano inclinado, el cual permite variaciones de inclinación y porta una escala que posibilita realizar lecturas del ángulo al cual está inclinada la superficie. La [Figura 1](#) muestra el esquema de cuerpo libre de este dispositivo.

donde:

$F_r$  - fuerza de rozamiento, N;

$N$  - normal, N.

Aplicando la segunda ley de Newton:

$$\sum Fx = m \cdot a \quad (1)$$

donde:

$m$  - masa, kg;

$a$  - aceleración,  $m/s^2$

El coeficiente de fricción estático se midió en el momento en que el cuerpo rompe el movimiento y por lo tanto:

La aceleración  $a = 0$ .

A partir de la [ecuación 1](#) y conociendo que:

$$F_r = \mu \cdot N \quad (2)$$

Entonces:

$$\mu_e = F_r / N \quad (3)$$

En el caso del coeficiente dinámico, para su determinación se aplica el mismo procedimiento



**FIGURA 1.** Cuerpo libre y aparato para la determinación del coeficiente de fricción. Fuente: Archivo del autor.

pero en este caso se le provoca un impacto superficial al tubérculo para romper la inercia.

Finalmente mediante la [ecuación 4](#) se determina este indicador.

$$\text{Tang}\Omega = \text{friction coefficient (static or-dynamic)} \quad (4)$$

Este coeficiente se determinó ante diferentes superficies tales como:

- Acero; goma y madera, motivado por el uso de estas superficies en los equipos encargados de recolectar, transportar, beneficiar, almacenar y conservar este tipo de producto.

### **Metodología para la determinación de los sólidos solubles totales (SST)**

Se determinó de acuerdo con la norma cubana ([NC-ISO: 2173-01, 2002](#)).

### **Metodología para la determinación del pH**

Se determinó de acuerdo con la norma cubana ([NC-ISO: 1842-01, 2002](#)).

### **Medición del contenido de materia seca y cenizas**

Se determinó de acuerdo con la norma cubana [NRAG-103:1979 \(1980\)](#); [NRAG-105:1979 \(1980\)](#).

### **Metodología para determinar los daños mecánicos**

Se determinó de acuerdo con lo estipulado por [Martínez \(2012\)](#), a través del siguiente protocolo:

Empleando un instrumento manual, el cual porta una escala graduada desde el suelo hasta su máxima altura (1,20 m), variando en 0,15 m, se dejó caer en caída libre los tubérculos seleccionados, con masas promedios conocidas (194 g, 208,5 g y 276 g), a una altura seleccionada igual a 1,20 m, sobre superficie de acero (no fueron utilizadas las superficies de goma y madera para este ensayo). Se seleccionó la mayor altura, motivado en el máximo daño que pudiera ser infringido al tubérculo, utilizando este dispositivo. Por otra parte, la manipulación de este producto en la estiba y colocación del producto en los medios de transporte se enmarca en alturas similares y superiores a este rango. Las masas de los tubérculos evaluados se seleccionaron teniendo en cuenta el comportamiento medio de las muestras investigadas en este indicador. En todos los casos, se dejó transcurrir 48 horas posteriores a los impactos provocados y se calcularon los

parámetros que caracterizan los daños mecánicos por impactos.

### **Metodología para la estimación del almidón**

Se determinó de acuerdo con [Toro y Caña \(1983\)](#), se tomaron de tres raíces frescas de yuca por variedad o lote (3 kg) preferiblemente recién cosechadas, de diferentes tamaños y grosores. Se limpiaron las raíces con el lomo de un cuchillo y se retiró la tierra adherida, las raicillas y el pedúnculo.

Una vez registrados los pesos de las raíces en el aire y en el agua se calculó la gravedad específica empleando la siguiente fórmula:

$$GE = \frac{PFRAI}{PFRAI - PFRAG} \quad (5)$$

dónde:

GE - gravedad específica;

PFRAI - peso fresco de las raíces en el aire (PFRAI);

PFRAG - peso fresco de las raíces en el agua (PFRAG).

Dado que el contenido de almidón en raíces frescas de yuca constituye alrededor del 85-90% del contenido de materia seca (MS), el contenido de almidón puede ser estimado, tomando un promedio de este rango (0,875), por medio de la siguiente fórmula:

$$\% AL = \% MS \times 0.875 \quad (6)$$

Se utilizó esta metodología por ser un método sencillo y por no disponer de equipamiento moderno en el laboratorio de bromatología para llevar a efecto este análisis. En [Aristizábal et al. \(2007\)](#) se reportan los métodos y equipamientos necesarios para efectuar este tipo de análisis de forma exhaustiva.

### **Metodología para el deterioro fisiológico**

Se seleccionaron 10 raíces de yuca con un tamaño mínimo de 18 cm, sin daños mecánicos y sin pudrición pre cosecha. Se descartó los extremos distal y proximal de las raíces cortándolos con un cuchillo, de manera que la sección de raíz a evaluar fuera de aproximadamente de 15 cm de largo. Después se cubrió el lado distal con una película de PVC (Película de plástico de cloruro de polivinilo) para mantener la humedad y evitar que el deterioro fisiológico comenzara desde esta superficie y así forzar el desarrollo desde el

extremo proximal. De esta forma el deterioro se desarrollará solamente desde el extremo proximal; posteriormente se almacenaron las raíces en un lugar protegido del sol y de la lluvia pero expuesto al aire libre (laboratorio de bromatología). Se evaluaron después de tres días de almacenamiento. Para evitar la contaminación microbiana; se cortaron transversalmente las raíces en secciones a los 2, 4, 6, 8, 10, 12 y 14 cm a partir del extremo proximal. Se obtuvo un total de siete secciones para evaluar. Se evaluaron 3 raíces de cada tratamiento o variedad para obtener el promedio de la suma total de los valores de las siete secciones transversales evaluadas.

El porcentaje de deterioro se determinó empleando la siguiente expresión:

$$\text{Percentage of deterioration in cassava} = \left( \frac{\sum \text{value in the scale of deterioration}}{70} \right) \times 100 \quad (7)$$

### Metodología para las pruebas de cocción (calidad de cocción)

Se tomaron 3 yucas al azar en el campo (1 kg), se pelaron y se le añadió un litro y medio de agua a temperatura ambiente, se pusieron a hervir en una hornilla eléctrica durante 30 minutos, después se desecha esa agua y se le vuelve agregar la misma cantidad de agua a temperatura ambiente y se dejó hervir durante 30 minutos más. Este experimento tiene como objeto la determinación del consumo específico energético  $\text{kW}\cdot\text{h}\cdot\text{kg}^{-1}$  de yuca cocida. Esta característica ha sido estudiada en plátanos de cocción por [Dadzie y Orchard \(1997\)](#), pero no se conocen estudios semejantes en yuca, por lo que el mismo pudiera aportar informaciones en este campo, tales como: facilidad de pelado, firmeza de la pulpa antes y después de hervirla, adsorción de agua por la pulpa y duración de la cocción o hervido. En este caso se observó la duración de la cocción y su consumo específico de energía.

### Metodología para el procesamiento y análisis estadístico de los datos

Los datos obtenidos de las lecturas de cada una de las variables establecidas fueron tabulados mediante el tabulador electrónico Microsoft Excel. Para el procesamiento de datos se utilizó el paquete estadístico Statistica 8.0. Se aplicó procedimientos de comparaciones de estadísticos

descriptivos, resúmenes estadísticos, tablas de frecuencia, e histogramas en todas las variables y tratamientos evaluados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Resultados obtenidos relacionados con el tamaño muestral

De acuerdo con [Carballo y Prado \(1980\)](#), se determinó que el tamaño de la muestra para las pruebas de impacto fueron de 15 raíces (yucas), mientras que para la determinación de las propiedades físico-mecánicas y químicas y los análisis de laboratorio el tamaño muestral se tomaron tres muestras (triplicado), de acuerdo con los protocolos del laboratorio de bromatología de nuestra facultad. Tanto en el control como en los días objeto de evaluación se monitorearon subgrupos de 3 raíces.

### Resultados obtenidos relacionados con el desarrollo de los tubérculos

De acuerdo con [Gomez et al. \(1983\)](#), la evolución del tubérculo exige varias semanas aproximadamente (36). Cuando el desarrollo del tubérculo ha terminado empieza a perder sus hojas aunque no su totalidad. En nuestro caso, las raíces investigadas fueron tomadas en el momento óptimo para la cosecha, de acuerdo con las características botánicas de este cultivar, observadas in situ, este se presentó en la segunda semana de enero, 2017 (38 semanas).

### Resultados obtenidos relacionados con las principales características físico-mecánicas

En la [Tabla 1](#) se presentan los resultados de las características físico-mecánicas evaluadas en las raíces (yucas) estudiadas (variedad Jagüey dulce).

Del análisis de la tabla anterior se puede observar que la longitud presentó un valor medio igual a 27,5 cm; la circunferencia un valor medio de 16 cm; el grosor de la cáscara un valor de 3 mm; el grosor de la pulpa un valor de 50 mm y la relación pulpa/cáscara un coeficiente de 4,75. Estos indicadores están dentro de los rangos de otras variedades de yucas existentes en el país.

Pruebas de fricción: Los resultados de las pruebas de fricción se efectuaron en tubérculos inmediatamente de haber sido cosechados. Estos resultados se presentan en la [Tabla 2](#). Del análisis

**TABLA 1.** Características físico-mecánicas obtenidas. Fuente: Elaboración propia

Parámetro evaluado	Valor mínimo	Valor máximo	Valor medio
Longitud (cm)	22	33	27,5
Circunferencia (cm)	15	17	16
Grosor de la cáscara (mm)	2	4	3
Grosor de la pulpa (mm)	46	54	50
Relación pulpa/cáscara	4,5	5	4,75

**TABLA 2.** Resultados de los coeficientes de fricción. Fuente: Elaboración propia

Días	Coefficientes de fricción	Valor mínimo	Valor máximo	Valor medio
1	Acero	0,75	0,94	0,84
1	Goma	0,78	0,96	0,87
1	Madera	0,67	0,90	0,78
3	Acero	0,51	0,62	0,57
3	Goma	0,53	0,73	0,63
3	Madera	0,55	0,78	0,67
6	Acero	0,58	0,67	0,63
6	Goma	0,58	0,70	0,64
6	Madera	0,47	0,75	0,61

de la [Tabla 2](#) se puede apreciar que los coeficientes de fricción en superficie de goma resultaron los mayores valores obtenidos, seguidos por los obtenidos en superficie de acero, mientras que en superficie de madera se presentaron los menores valores. Lo cual de acuerdo con nuestro criterio es un resultado esperado relativo a la superficie de goma, pero contradictorio con respecto a la superficie de madera comparada con la de acero motivado por la mayor rugosidad de la superficie de madera comparada con la superficie de acero, por lo cual en el acero se debió presentar menores valores en los tres días analizados.

### Resultados obtenidos relacionados con los sólidos solubles totales

Los resultados obtenidos referidos a los sólidos solubles totales, se muestran en la [Figura 1](#), en este caso los mayores valores se presentaron en los tubérculos con un día posterior a la cosecha. Disminuyendo progresivamente en el tercer y sexto día posterior a la cosecha, a nuestro criterio, motivado por el proceso de degradación de la yuca. En caso de la muestra refrigerada este valor bajó significativamente con respecto al primer día posterior a la cosecha, lo cual indica que esto pudiera influir en el proceso de acidificación de las raíces de yuca; por lo que sería interesante profundizar en este indicador en

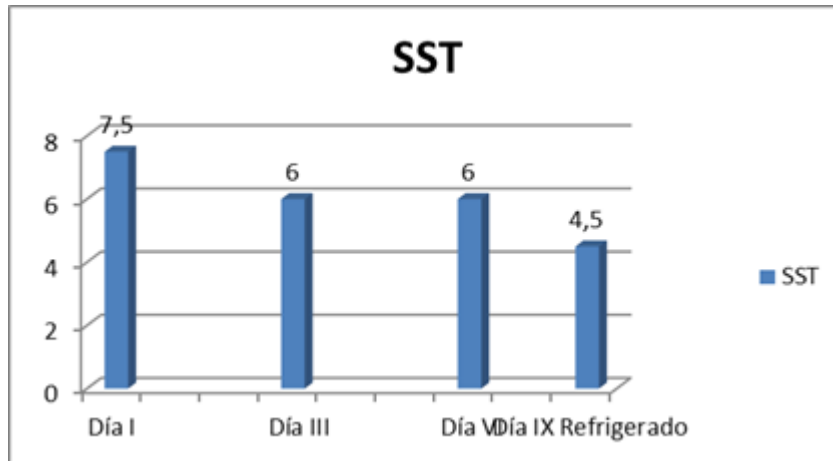
investigaciones posteriores. En investigaciones efectuadas por [Scott \(2002\)](#), este indicador no fue analizado.

### Resultados obtenidos relacionados con el pH

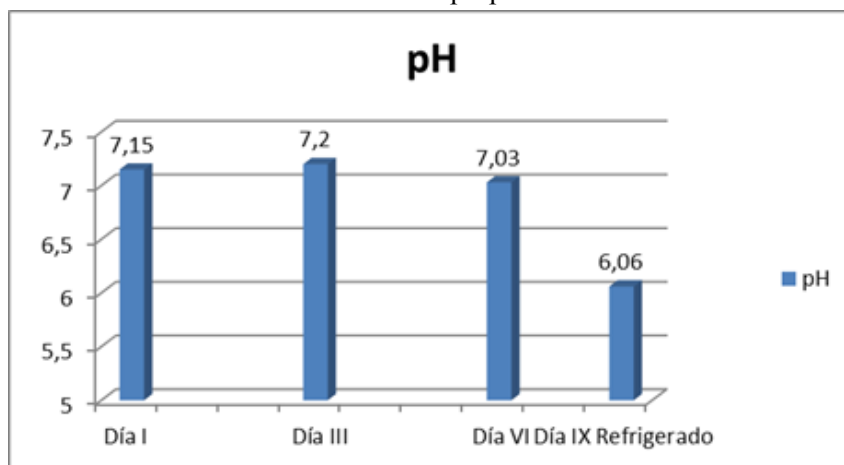
Los resultados obtenidos referidos al pH, se presentan en la [Figura 2](#), en este caso se puede apreciar que en el primer día de cosechada las muestras poseen un valor próximo al neutro (7,15), mientras que en el tercer día posterior a la cosecha se presentó el valor más alto (7,2), posteriormente en el sexto día se produjo una pequeña caída (7,03); mientras que en la muestra refrigerada se presentó el menor valor de pH (6,96), lo cual pudiera indicar un proceso de acidificación. Estos resultados se refieren a las raíces de yuca y no al almidón, donde ocurre que el valor del pH en el almidón nativo debe estar entre 6,0 y 6,5 ([ISI, 1999](#)).

### Resultados obtenidos relacionados con la humedad de la cáscara, la pulpa y del contenido de materia seca

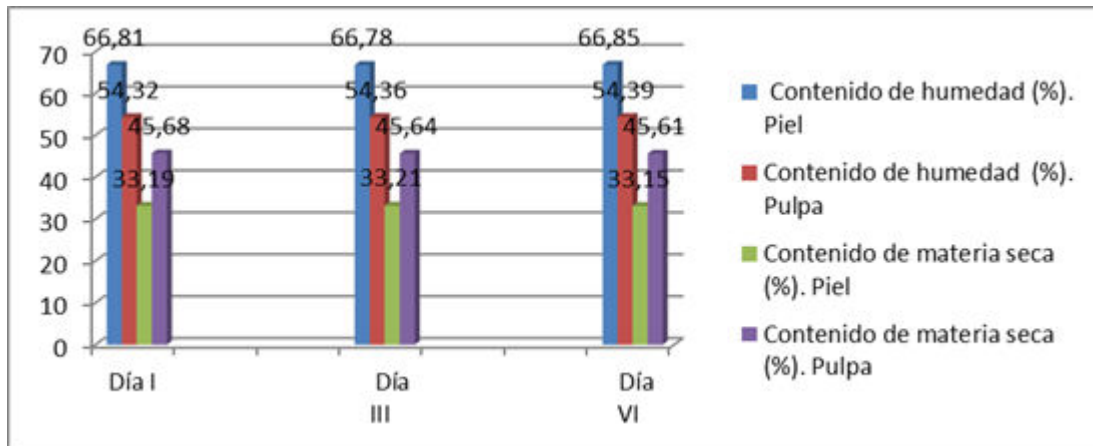
En la [Figura 3](#) se presentan los resultados referidos a la humedad de la cascara, la pulpa y el contenido de materia seca en las pruebas realizadas. En este caso se puede observar que el contenido de humedad en la cascara permanece constante durante el periodo analizado con valores próximo a 67%, mientras que la materia



**FIGURA 1.** Evolución de los sólidos solubles totales (SST) en las raíces investigadas. Fuente: Elaboración propia.



**FIGURA 2.** Evolución del pH. Fuente: Elaboración propia.



**FIGURA 3.** Contenido de humedad de la cáscara y de la pulpa y del contenido de materia seca en cáscara y en pulpa. Fuente: Elaboración propia.

seca los valores obtenidos están sobre el 33%, el contenido de humedad en la pulpa se obtienen valores sobre el 54%, por último, la materia seca en la pulpa oscilo en valores próximos al 46%. Sin embargo en investigaciones efectuadas por [Llanos y Buitrago \(2002\)](#), estos autores obtienen valores de materia seca en raíces frescas entre 20

y 45%, próximos a los resultados obtenidos en este trabajo. Mientras que en el contenido de humedad los valores obtenidos por estos autores osciló entre 55 al 80%, lo cual coincide con los resultados obtenidos en este trabajo.

### Resultados obtenidos relacionados con los daños mecánicos

Estos análisis se realizaron inmediatamente posteriores a la cosecha de las raíces evaluadas. [Tablas 3](#) y [4](#). Se realizaron a una altura de 1,05 m y 1,20 m, con energías de impacto que oscilaron entre un mínimo de 2037,72 (J) y un máximo de 3245,76 (J). Se valoraron estas alturas para obtener una frontera del máximo daño posible que se pudiera provocar a las raíces utilizando el instrumento disponible en esta investigación.

Los resultados obtenidos en las [Tablas 4](#) y [5](#), muestran el comportamiento de los daños por impacto a diferentes alturas (1,05-1,20 m) de los tubérculos impactados sobre superficies de acero. Se puede apreciar que a medida que la altura aumenta, aumenta la energía de impacto, presentando la raíz una mayor susceptibilidad a los daños provocados, sobre todo a los inducidos en la superficie de acero con energías de impacto igual a 3245,76 con una susceptibilidad de 3,9, que fueron los valores obtenidos a la mayor altura de caída del producto, afectando de esta manera no solo a la superficie de la Yuca, sino también a su pulpa. Como se planteó en Materiales y métodos estos ensayos se realizaron con diferentes energías de impacto. De acuerdo con [Martínez \(2012\)](#), los daños mecánicos son uno de los principales factores que conllevan al deterioro pos cosecha de los productos agrícola. También esto afecta la baja calidad de mercadeo y precios, por lo que es muy importante tratar de minimizar los posibles daños provocados en la manipulación del producto.

### Resultados obtenidos relacionados con la estimación de Almidón

Los resultados obtenidos por la estimación de almidón en yuca fueron de 47,56%, sin embargo en investigaciones realizadas por [Toro y Caña \(1983\)](#), estos valores oscilaron entre 17,5% y 39,4%, lo que indica que la variedad analizada en este trabajo presenta diferencia significativa con respecto a las evaluadas por [Toro y Caña \(1983\)](#), lo cual pudiera estar dado por las condiciones edafoclimáticas existentes entre ambos países; así como por los diferentes clones de yuca evaluados entre otras causas.

### Resultados obtenidos por el deterioro fisiológico

Los resultados obtenidos en el deterioro fisiológico al cabo de tres días de cosechado el tubérculo fueron de 20,4%, lo que indica un rápido deterioro del tubérculo bajo condiciones ambientales, de aquí la importancia de un cuidadoso manejo y conservación del tubérculo. En investigaciones efectuadas por [Wheatley \(1983\)](#), este autor plantea que el deterioro fisiológico en yuca varía desde 0% hasta 100%, en dependencia de la edad del cultivo al momento de la cosecha; así como de los factores edafoclimáticos en los cuales crecieron las plantas. También es su deterioro fisiológico un aspecto muy importante a destacar es las condiciones de almacenamiento, debido a su poca vida de almacén (anaquel), lo cual ya ha sido descrito por otros autores entre los que se destacan a [Wheatley \(1983\)](#) y [Thompson \(1998\)](#).

**TABLA 3.** Resultados de los daños por impacto en los tubérculos evaluados a 1,05 m de altura  
Fuente: Elaboración propia

Altura (m)	Masa (g)	Energía impacto (J)	Susceptibilidad	Área de magulladura (cm <sup>2</sup> )	Volumen de la magulladura (cm <sup>3</sup> )
1,05	180	2037,72	0,14	6,36	28,61
1,05	205,13	2110,78	0,18	7,90	39,25
1,05	284	2922,36	0,45	17,6	132,46

**TABLA 4.** Resultados de los daños por impacto en los tubérculos evaluados a 1,20 m de altura  
Fuente: Elaboración propia

Altura (m)	Masa (g)	Energía impacto (J)	Susceptibilidad	Área de la magulladura (cm <sup>2</sup> )	Volumen de la magulladura (cm <sup>3</sup> )
1,20	194	2281,44	0,11	2,3	26,45
1,20	208,05	2446,08	0,07	1,9	18,05
1,20	276	3245,76	3,9	3,9	76,05



### Resultados obtenidos para las pruebas de cocción

Los resultados de las pruebas de cocción arrojaron que la variedad de Yuca “Jagüey dulce” presentó un ablandamiento total, lista para el consumo en una hora, con un consumo energético de 1 kW-h.kg<sup>-1</sup> de yuca cocida, este indicador muestra que en este lapso de tiempo, la pulpa se cocina bien, permanece firme y no aguada. Este indicador pudiera ser utilizado como referencia para otras variedades de Yuca cultivadas en Cuba.

### Resultados obtenidos relacionados con el procesamiento de los datos estadísticos

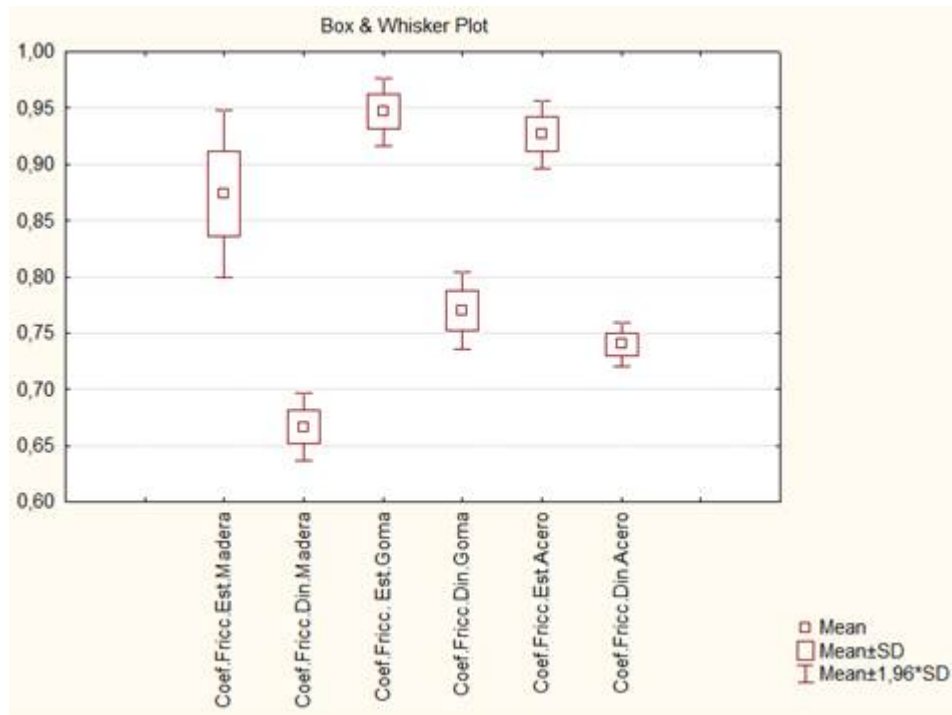
En este caso se presentan los resultados obtenidos del procesamiento estadístico de los coeficientes de fricción estático y dinámico mediante el paquete profesional Statistica, 8.

Del análisis de la [Figura 4](#), se pudo apreciar que los máximos valores de los coeficientes de fricción estáticos se presentan en la superficie de goma, seguido por los valores obtenidos en la superficie de madera, culminando en la superficie de acero, con los menores valores obtenidos, lo cual es un resultado esperado, teniendo en cuenta el grado de rugosidad superficial de estas superficies. Sin embargo, en los coeficientes de fricción dinámico el mayor valor coincide con la

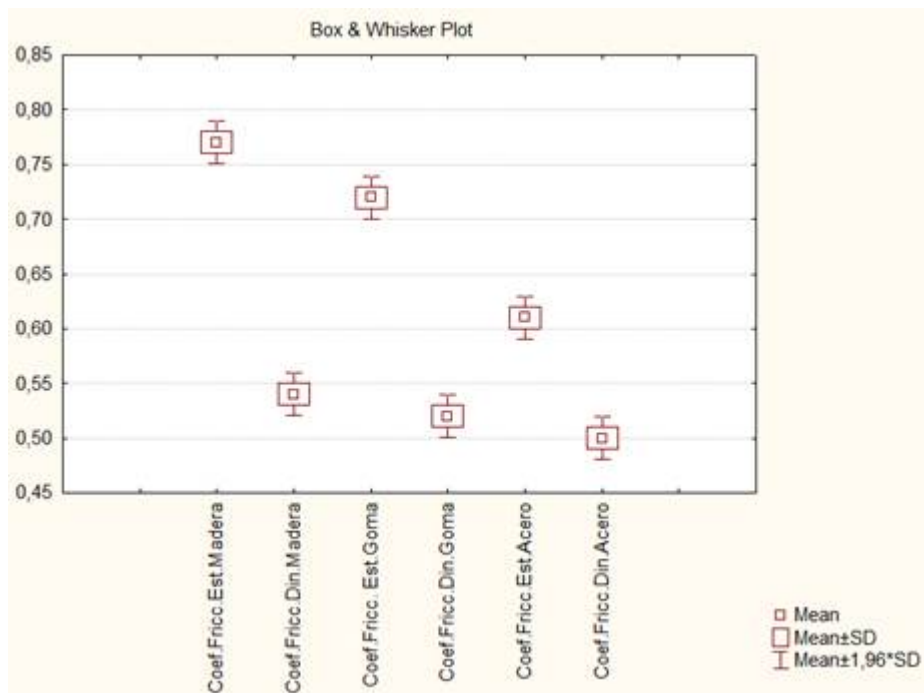
superficie de goma, sin embargo, en el segundo lugar aparece los valores obtenidos en la superficie de acero, lo cual pudiera estar dado por el mismo fenómeno descrito en los coeficientes de fricción estáticos, pero a la inversa.

Del análisis de la [Figura 5](#), se pudo apreciar que los máximos valores de los coeficientes de fricción estáticos se presentan en la superficie de madera, seguido por los valores obtenidos en la superficie de goma, culminando en la superficie de acero, con los menores valores obtenidos, lo cual es un resultado esperado, teniendo en cuenta el grado de rugosidad superficial de estas superficies. Sin embargo en los coeficientes de fricción dinámica se presentó el mismo efecto, pero en este caso los valores obtenidos en ambos coeficientes disminuyen en valor con respecto al día 1 ([Figura 4](#)), lo cual pudiera estar dado por el grado de deterioro de la piel o cáscara de la yuca.

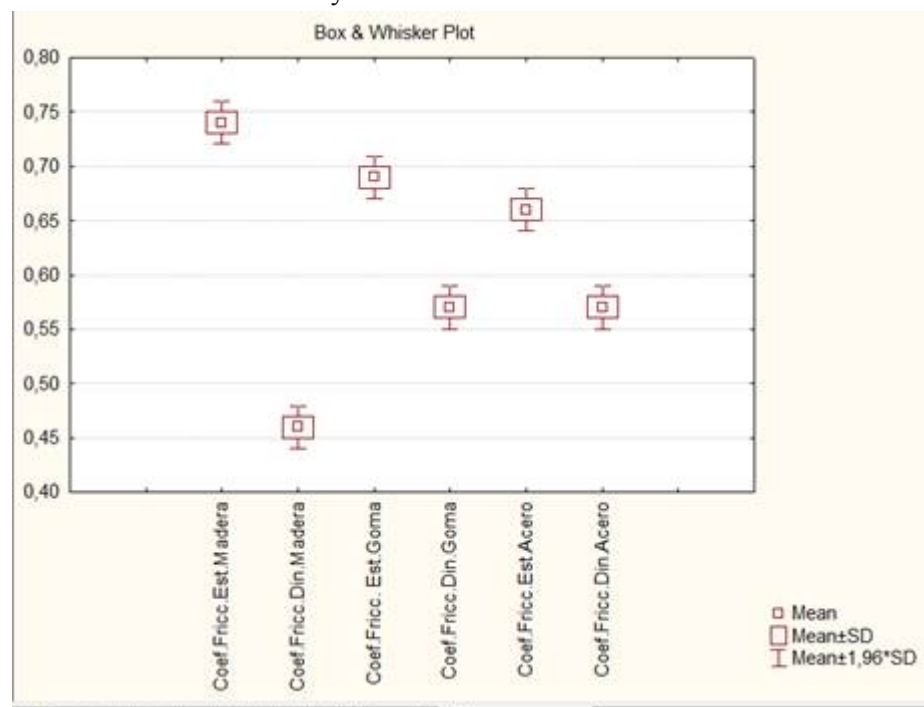
Del análisis de la [figura 6](#), se pudo apreciar que los máximos valores de los coeficientes de fricción estáticos se presentan en la superficie de madera, seguido por los valores obtenidos en la superficie de goma, culminando en la superficie de acero, con los menores valores obtenidos, lo cual es un resultado esperado, teniendo en cuenta el grado de rugosidad superficial de estas superficies. Sin embargo en los coeficientes de



**FIGURA 4.** Resultados de los coeficientes de fricción estático y dinámico mediante análisis estadístico Box and Whisker Plot en yuca con 1 día de cosechada. Fuente: Elaboración propia.



**FIGURA 5.** Resultados de los coeficientes de fricción estático y dinámico mediante análisis estadístico Box and Whisker Plot en yuca con 3 días de cosechada. Fuente: Elaboración propia.



**FIGURA 6.** Resultados de los coeficientes de fricción estático y dinámico mediante análisis estadístico Box and Whisker Plot en yuca con 6 días de cosechada. Fuente: Elaboración propia.

fricción dinámica se presentó una contradicción al presentarse un efecto contrario en la superficie de madera y semejante en las superficie de goma y acero, teniendo como constante que los valores obtenidos en ambos coeficientes de fricción disminuyen en valor con respecto al día 3 (Figura 5), lo cual pudiera estar dado por el grado de deterioro de la piel o cáscara de la yuca. Estas

investigaciones difieren significativamente con las ejecutadas por [García et al. \(2017\)](#), los cuales han obtenido valores del coeficiente de fricción estático para dos variedades de yuca (La Reyna y Paigua Negra) sin corteza en contacto con el acero, entre 0,41 y 0,39. Otros investigadores [Aristizábal et al. \(2007\)](#), han encontrado valores que oscilan entre 0,30 hasta 0,65, de acuerdo a

diferentes superficies de rozamiento, pero se debe destacar que estos investigadores han realizado sus investigaciones sin la cáscara o piel de la yuca. Por otra parte, otros investigadores han estudiado otras características físico-mecánicas de la yuca tales como: el porcentaje en peso de la piel o cáscara, el espesor de la cáscara, diámetro de las raíces, dureza (fuerza de penetración), determinando diferentes correlaciones entre estas variables según [Adetan et al. \(2003\)](#), algunas de las cuales no han sido objeto de estudio en este trabajo.

### CONCLUSIONES

- La influencia de las variables climáticas en las propiedades físico-mecánicas y químicas para las muestras de tubérculos monitoreadas con 1, 3 y 6 días posteriores a la cosecha muestran los siguientes resultados:
- El pH, mostró cambios pocos significativos durante los días posteriores a la cosecha.
- La variable sólidos solubles totales no presentó diferencias entre las muestras analizadas el tercer y sexto día posterior a la cosecha, pero si el primer día sin refrigeración y el primer día refrigerado.
- Los ensayos de impacto del orden desde 2037,72 (J) a 3245,76 con susceptibilidades del orden de 0,14 y 3,9, reafirmaron la delicadeza de estos tubérculos a daños mecánicos, lo cual unido a su poca vida de anaquel (3 días), revalida la importancia de un adecuado manejo poscosecha de este tubérculo.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADETAN, D.A.; ADEKOYA, L.O.; ALUKO, B.: "Characterisation of some properties of cassava root tubers", *Journal of Food Engineering*, 59(4): 349-353, 2003, ISSN: 0260-8774.
- ARISTIZÁBAL, J.; SÁNCHEZ, T.; LORÍO, D.M.: *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*, Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Roma, 2007, ISBN: 92-5-305677-0.
- BRITO, C.I.: *Tecnología del manejo poscosecha de la yuca (Manihot esculenta Crantz) para el mercado fresco.*, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Eng. Thesis, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, 46 p., 2017.
- CARBALLO, A.; PRADO, L.Y.M.: *LYM: Biestadística*, Ed. Pueblo y Educación, La Habana, Cuba, 1980.
- CEVALLOS, H.: *La yuca en Colombia y en el mundo: nuevas perspectivas para un cultivo milenario*, Inst. Ministerio de la Agricultura, Colombia, 25p., 2002.
- DADZIE, B.K.; ORCHARD, J.E.: *Evaluación rutinaria poscosecha de híbridos de bananos y plátanos: criterios y métodos. Guías técnicas INIBAP 2.* ;, Inst. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y el Plátano, Montpellier, Roma, Italia, 63 p., 1997.
- GARCÍA, P.A.; PETROCELLY, E.; SABÍN, R.Y.; HERNÁNDEZ, G.A.; GARCÍA, C.J.: "Evaluación de las principales propiedades físico-mecánicas de la yuca (Manihot esculenta Crantz) para su mecanización", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 26(1): 4-13, 2017, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- GOMEZ, G.; SANTOS, N.; VALDIVIESO, G.: "Utilización de raíces y productos de yuca en alimentación animal", En: Ed. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1983.
- ISI: *Determination of pH in starch and syrup*, Inst. International Starch Institute (ISI), USA, 1999.
- LLANOS, G.J.; BUITRAGO, A.J.: *La yuca en la alimentación animal*, Colombia, 2002.
- MARTÍNEZ, H.C.: *Fundamentos del manejo y tratamiento poscosecha de productos agrícolas*, Ed. Félix Varela, La Habana, Cuba, 212 p., 2012, ISBN: 978-959-07-1641-6.
- NC-ISO: 1842-01: *Productos de frutas, vegetales y viandas. Determinación del pH*, La Habana, Cuba, Vig de 2002.

NC-ISO: 2173-01: *Productos de frutas, vegetales y viandas. Determinación de Sólidos Solubles Totales*, La Habana, Cuba, Vig de 2002.

NRAG-103:79: *Piensos y sus materias primas. Materia seca. Determinación. Método de secado en la estufa*, La Habana, Cuba, 5 p., Vig de 1980.

NRAG-105:79: *Piensos y sus materias primas. Cenizas. Determinación. Método de incineración*, La Habana, Cuba, 3 p., Vig de 1980.

SCOTT, S.: “La yuca en Colombia y el mundo: nuevas perspectivas para un cultivo milenario”, *La yuca en el Tercer Milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*, 327: 1, 2002, ISSN: 9586940438.

THOMPSON, A.K.: *Tecnología Post - Cosecha de Frutas y Hortalizas*, Colombia, 267 p., 1998, ISBN: 958-9401-16-3.

TORO, J.C.; CAÑA, A.: *Determinación del contenido de materia seca y almidón en yuca por el sistema de gravedad específico*, Inst. Universidad Central de las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, 1983.

WHEATLEY, .: *Almacenamiento de raíces frescas de yuca.*, Inst. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1983.

Carlos M. Martínez-Hernández, Prof. Titular. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. Carretera a Camajuaní km.5.5, CP: 54830. Santa Clara, Villa Clara, Cuba, Tel: 53-42-281692. Fax: 53-42-281608, e-mail: [carlosmh@uclv.edu.cu](mailto:carlosmh@uclv.edu.cu)

Isys Brito-Castillo, e-mail: [carlosmh@uclv.edu.cu](mailto:carlosmh@uclv.edu.cu)

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

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.