



<https://eqrcode.co/a/SRCFVQ>

## REVISIÓN

# Propiedades físico-mecánicas del corte de tallos y otros productos agrícolas

## *Physical Mechanical Properties of the Cutting Stems and Other Agricultural Products*

Ing. Dayami Veliz-Romeu<sup>1</sup>, Dr.C. Pedro A. Valdés-Hernández<sup>1</sup>, Dr.C. Pablo Manuel Hernández-Alfonso<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Delegación de la Agricultura de Guane, MINAG, Guane, Pinar del Río, Cuba.

<sup>1</sup> Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Departamento de Ingeniería, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

**RESUMEN.** El estudio de las propiedades físico mecánicas de los tallos gruesos es de vital importancia ya que constituyen los datos de entrada para su procesamiento en los modelos de cálculos establecidos, para la determinación de parámetros de diseño y explotación de las máquinas picadoras de forraje en particular o de máquinas agrícolas en general. El objetivo del trabajo consistió en *desarrollar una revisión de las propiedades físico-mecánicas, relacionadas con el proceso tecnológico de corte de tallos y otros productos agrícolas*. En la revisión realizada se aprecia que dentro de las propiedades físico-mecánicas fundamentales se encuentran: diámetro y longitud de los tallos, masa específica o densidad, fuerza de corte, energía y energía específica de corte, coeficiente de fricción estático y dinámico como demanda de dichos modelos de cálculos para la determinación de la productividad, tamaño de partícula y consumo de potencia de dichas máquinas. También se revisaron propiedades de composición química, contenido de materia orgánica, diámetro, firmeza, dureza cortical, las que se utilizan como parámetros para el diseño de máquinas cortadoras, segadoras, cosechadoras y equipos forrajeros. Las propiedades físico-mecánicas dependen del tipo de material, su etapa de crecimiento, contenido de humedad y el lugar de corte en la planta.

**Palabras clave:** longitud de los tallos, masa específica, energía específica de corte, coeficiente de fricción estático, dinámico, firmeza y dureza cortical.

**ABSTRACT.** The study of the physical and mechanical properties of the thick stalks is of vital importance since they constitute the input data for processing in the calculation models for the determination of design and exploitation parameters of the forage chopper machines in particular or of agricultural machines in general. The objective of the work was to develop an analysis or review of some of the physical and mechanical properties of thick stalks and other agricultural products. In the review carried out can be seen that the fundamental physical and mechanical properties include: diameter and length of the stalks, specific mass or density, cutting force, energy and specific cutting energy, static and dynamic friction coefficient, as demand for the calculation models for determining the productivity, particle size and power consumption of the machines. Also where reviewed other properties such as chemical composition, organic matter content, diameter, firmness, cortical hardness that have been widely used as parameters for the design of cutting machine, mowers, combines and forage equipment. The physicomechanical properties depend on the type of material, its stage of growth, moisture content and the place of cut in the plant.

**Keywords:** Stalk Width, Specific Mass, Cutting Energy, Friction Coefficient.

## INTRODUCCION

Durante las investigaciones vinculadas con los órganos de trabajo de las máquinas agrícolas y en particular en el caso de

los órganos desmenuzadores y trozadores de tallos, la determinación de las propiedades físico-mecánicas del material a pro-

<sup>1</sup> Autora para correspondencia: Dayami Veliz-Romeu, e-mail: dayami.veliz@nauta.cu

**Recibido:** 26/07/2020.

**Aprobado:** 09/12/2020.

cesar resulta una etapa indispensable según Mohsenin (1985); Chattopadhyay y Pandey (1999); Nimkar y Chattopadhyay (2001); Valdés e Iglesias (2002a, 2002b); Pérez *et al.* (2007), ya que constituyen datos de entrada durante la evaluación de los modelos teóricos elaborados, para el cálculo de los diferentes parámetros constructivos y de explotación de dichos órganos.

Los valores de las propiedades físico-mecánicas pueden variar en dependencia de la especie y variedad para una misma población, con comportamientos estadísticos específicos, en función de las condiciones climáticas de cada región y país, por lo que se hace necesario su determinación en las diferentes condiciones de realización de este tipo de estudio (Aydin *et al.*, 2002; Vilche *et al.*, 2003; Abalone *et al.*, 2004; Vursavus y Ozguven, 2005).

La investigación de las propiedades físico-mecánicas de tallos gruesos u otros productos como lo son el diámetro y longitud de los tallos, masa específica o densidad, fuerza de corte, energía y energía específica de corte, coeficiente de fricción estático y dinámico datos de entrada a modelos de cálculos para la determinación de la productividad, tamaño de partícula y consumo de potencia son importantes para el diseño de las maquinas empleadas en la producción de alimento animal y así incrementar la calidad de la alimentación del ganado, funcionamiento y explotación de la maquinaria permitiendo con este estudio dar una solución eficaz y rápida a las problemáticas que ocasiona el clima y la alta humedad de los países del trópico.

Las investigaciones referentes a propiedades físico-mecánicas de tallos gruesos, donde se aborda su relación con los modelos de cálculos empleados para el diseño de la maquinaria y dentro de estas las picadoras de forraje, son escasas y no existe su determinación para las plantas proteicas de Morera, Moringa, Tithonia, por tal motivo el objetivo del trabajo consistió en: *Desarrollar una revisión de las propiedades físico - mecánicas relacionadas con el proceso tecnológico de corte de tallos u otros productos agrícolas, en máquinas picadoras de forraje en particular o de otras máquinas agrícolas en general*, asociado al proyecto de investigación titulado: *Desarrollo de un módulo de máquinas para la producción de alimento animal a partir de diferentes cultivos*, perteneciente al Programa Nacional de Alimento Animal.

## DESARROLLO DEL TEMA

### Empleo de las plantas de tallos gruesos como alimento para el ganado

Para la aplicación de las nuevas tecnologías en la ganadería en Cuba, se propone para la alimentación de los animales, establecer áreas forrajeras fundamentalmente de caña de azúcar y de kingrass, generándose una alta demanda de tecnologías mecanizadas para el procesamiento de estas nuevas fuentes de alimentos en las vaquerías según Valdés *et al.* (2012), además de estos cultivos más recientemente se han incorporado diferentes plantas proteicas como moringa, morera y tithonia, las cuales han tenido resultados muy favorables en Cuba, Latinoamérica y el Caribe, según Acosta (2017); Alonso (2017); González (2018). Por otro lado es necesario realizar la determinación de sus propiedades físico-mecánicas como datos entrada para su procesamiento, en los modelos de cálculos establecidos, para

la determinación de parámetros de diseño y explotación de las maquinas picadoras de forraje u otras máquinas.

Estos cultivos deben ser procesados, y de acuerdo a las condiciones explotativas específicas de cada unidad de producción, se debe contar con equipos picadores de forraje, los que asumen un importante papel, durante el desmenuzamiento, ya que se realiza su ruptura física, pues poseen un alto contenido de fibra, lo que facilita una digestión más rápida, contribuye a un mayor aporte de nutrientes al rumiante y a su vez favorece a mayores consumos según Elías *et al.* (1990); Martín (2005), aspecto a tener en cuenta para la adquisición de dichas máquinas.

### Propiedades físico – mecánicas de tallos gruesos y otros productos agrícolas

El conocimiento y estudio de las propiedades físico-mecánicas de los productos agrícolas es de vital importancia ya que estas tienen una relación directa con los parámetros requerido para el diseño de las máquinas agrícolas, con la optimización del funcionamiento de estas y la calidad del producto final.

Dentro de las propiedades físicas – mecánicas fundamentales para el diseño de la maquinaria agrícola se encuentran el diámetro y la longitud de los tallos, masa específica o densidad, fuerza de corte, energía y energía específica de corte, coeficiente de fricción estático y dinámico. Debido a su importancia disímiles autores han dedicado sus investigaciones al estudio de estas como Fernández (2015), que determinó las propiedades físico – mecánicas de ramas en verde de haya (*Fagus sylvatica* L.), donde para ello se emplearon ensayos no destructivos (NDT) para obtener variables de medición y sus relaciones con las propiedades físicas y mecánicas así como mediciones con penetrómetro (Pilodyn), para obtener su relación con la densidad de las ramas, mediciones de velocidad de propagación de una onda (Microsecond Timer) para obtener el módulo de elasticidad dinámico con el que estimar el módulo de elasticidad y la resistencia, un ensayo a flexión para obtener el módulo de elasticidad (MOE) y de resistencia (MOR). Entre sus resultados se pudo observar que las ramas más gruesas tienen un MOE a flexión y MOR más bajo y un MOE dinámico más alto que las ramas más delgadas.

Estas propiedades físicas y mecánicas guardan una relación muy estrecha con el contenido de humedad en los productos agrícolas, debido a esto se han realizado estudios dirigidos a evaluar el comportamiento de las mismas, con distintos porcentajes de humedad, según Olea *et al.* (2018). El autor realizó un análisis del comportamiento de las propiedades mecánicas de tracción como alargamiento, energía específica al alargamiento o tracción, absorción de energía a la tracción (TEA) y torsión, bajo dos condiciones de humedad y envejecimiento para fibras de “Tamshi” (*Heteropsis flexuosa* (Kunth) G.S. Bunting) (Tabla 1).

La resistencia máxima a la tracción para los haces fibrosos de la fibra de *H. flexuosa* en estado seco al aire, sin ser sometido al envejecimiento acelerado, es en promedio 616,9 J/cm<sup>2</sup>, mientras que en estado saturado (65% de humedad) disminuye su resistencia a 535,92 kg/cm<sup>2</sup> y para el 80% se obtiene una menor resistencia de 584,78 kg/cm<sup>2</sup>. Las muestras secas al aire, presentan el menor

porcentaje de elongación o alargamiento de 0,74 a 15% de humedad; la muestra sometida a envejecimiento con 0,97 a 80% de humedad y finalmente la muestra en condición verde con 1,4 a

65% de humedad (Tabla 1). La absorción de energía de tracción del material en láminas de H flexuosa en estado seco (15%) sin ser sometidas a envejecimiento resultó en promedio de 31 138 J/m<sup>2</sup>.

**TABLA 1. Valores promedios de las propiedades mecánicas para fibras de “Tamshi”, bajo dos condiciones de humedad y envejecimiento, fuente: Olea *et al.* (2018)**

Propiedades mecánicas Unidad	Promedio				Coeficiente de variabilidad
	SE		CE		
	CH 15%	CH 60%	CH 80%		
Tracción	kg/cm <sup>2</sup>	616,9	535,92	584,78	9,75
Alargamiento	%	0,74	1,4	0,97	22,54
TEA	J/m <sup>2</sup>	31138	200978	15577	31,083
Torsión	kg/cm <sup>2</sup>	1,29	1,065	0,945	18,745

TEA: absorción de energía a la tracción  
SE: secado  
CE: condiciones de envejecimiento  
CH: condiciones de humedad

Estas propiedades tienen como característica particular que poseen relación entre sí, por ejemplo la correlación entre propiedades anatómicas, resistencia a flexión estática y energía requerida para el corte en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), según González (2006), se demostró que empleó mayor requerimiento de energía específica al corte en los entrenudos que en los nudos y un menor consumo específico de energía al corte con las cuchillas con ángulo de afilado de 20°. Esto se explica porque los nudos tienen una mayor área transversal, pero también son microestructuralmente más discontinuos. Se estableció relación entre la microestructura de los tallos, comportamiento a la flexión y al corte, destacándose la relación proporción, entre el área transversal efectiva de fibra (ATEF) y la energía específica al corte, así como entre el coeficiente de

flexibilidad y el módulo de elasticidad a la flexión.

Otros investigadores como Valdés e Iglesias (2002a) y Valdés *et al.* (2008), determinan el ángulo de fricción estático y dinámico sobre acero y otros materiales, para tomate variedad Campbell 28 y tallos de caña de azúcar, variedad C323-68, para ello empleó una instalación mecánica que se muestra en la figura 1. La medición del tiempo transcurrido entre los puntos 6 y 5, se realiza con la filmación de un video para cada ensayo con la cámara de video (8), el cual se procesa en el Laboratorio de Tecnología Educativa de la Universidad Agraria de La Habana (UNAH, a través del software de edición de video Pinnacle Estudio 9, con una precisión de 0,0333 s (30 cuadros/s). La masa de las muestras y de los contrapesos para cada ensayo, se determina con una balanza de precisión de 0,01 g.

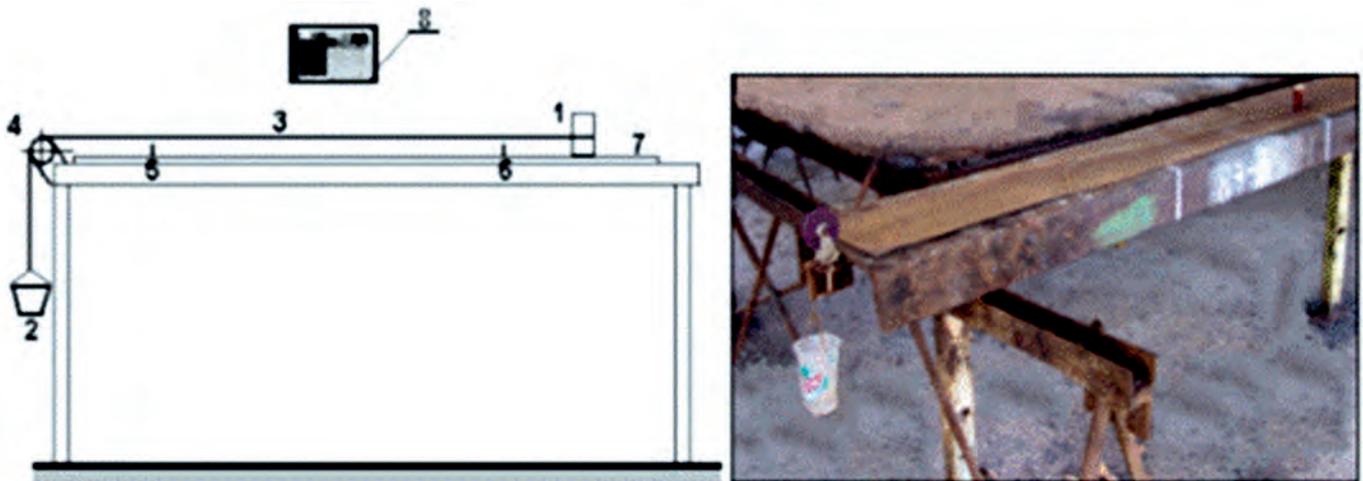


FIGURA 1. Instalación mecánica que se emplea en los ensayos, fuente: Valdés e Iglesias (2002a) y Valdés *et al.* (2008).  
Leyenda: 1 - Muestra. 2 - Peso conocido. 3 - Hilo. 4 - Polea. 5 y 6 - Marcas de cronometraje. 7 - Plancha de acero. 8 - Cámara de video.

En la Figura 2 se muestra el dispositivo experimental, para la determinación de la energía específica de corte, para tallos de caña variedad C323-68, utilizando como principio la pérdida de la energía potencial elástica de un resorte, según Valdés *et al.* (2009). Donde se obtuvo como resultado que la energía específica durante el corte de los tallos en función del ángulo de deslizamiento para diferentes velocidades, caracterizada por la obtención de un valor mínimo de la energía de corte para un ángulo de deslizamiento en el entorno de los 25°. Asimismo se obtuvo una disminución de la energía específica con el incremento de la velocidad

de corte, coincidiendo la tendencia con la obtenida por otros autores en otros cultivos de tallos gruesos, caracterizada por un comportamiento asintótico a partir de los 20...30 m/s, según la Figura 3.

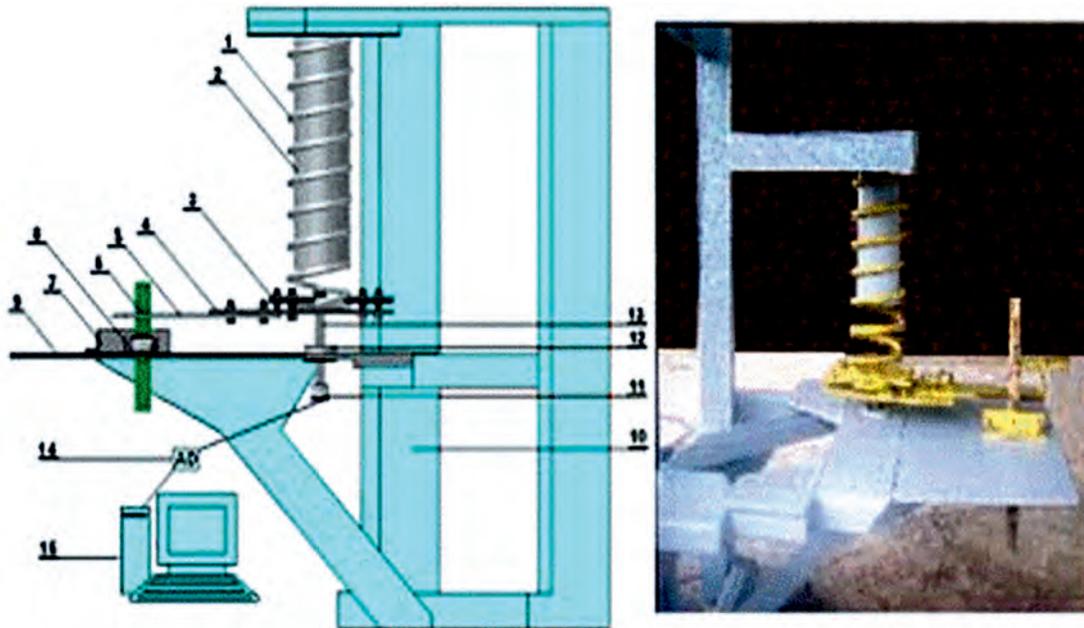


FIGURA 2. Instalación empleada durante la medición de la energía específica de corte, fuente: Valdés e Iglesias (2002a) y Valdés *et al.* (2008)

Leyenda: 1 - Resorte. 2 - Soporte del resorte. 3 y 4 - Soporte superior e inferior de la cuchilla respectivamente. 5 - Cuchilla. 6 - Muestra. 7 - Contra cuchilla. 8 - Presilla de sujeción de la muestra. 9 - Mesa. 10 Estructura. 11 - Potenciómetro. 12 - Buje. 13 - Eje guía. 14 - Tarjeta analógica-digital (AD). 15 Computadora.

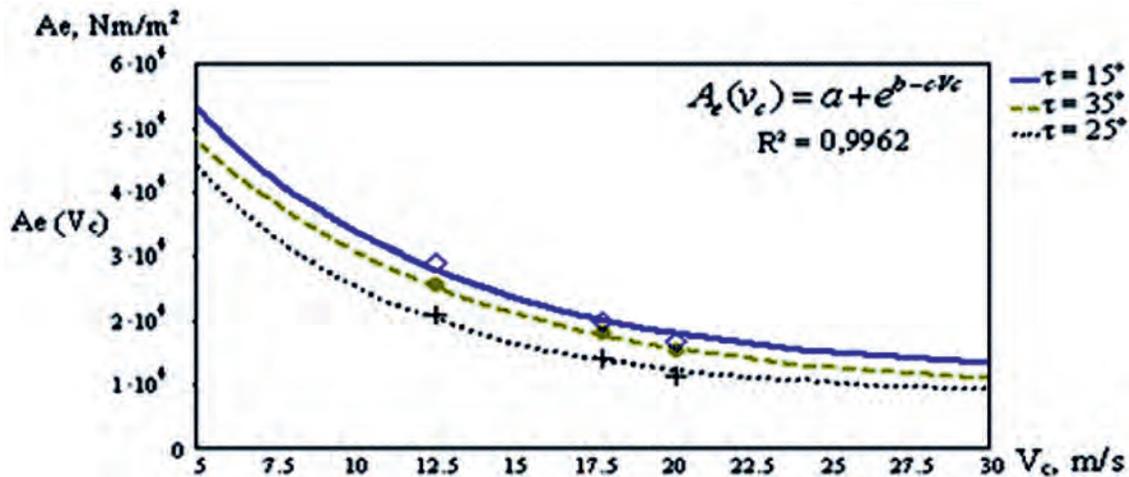


FIGURA 3. Variación de la energía específica durante el corte de los tallos en función de la velocidad de corte, para los diferentes ángulos de deslizamiento, ajustadas al modelo exponencial, fuente: Valdés (2008).

Ledeo *et al.* (2017), investigaron sobre el efecto del ecotipo y la frecuencia de corte en el rendimiento forrajero de *Moringa oleifera* Lam, en el Valle del Cauto. Para ello se evaluó el efecto de la frecuencia de corte (45 y 60 días) en el rendimiento forrajero de los ecotipos Nicaragua y Criolla de *Moringa oleifera*, en condiciones de riego y fertilización orgánica, en un suelo Fluvisol del Valle del Cauto.

Las plantas se cortaron a 10 cm y se determinaron las variables altura de la planta, cantidad y grosor de brotes, número de hojas, relación hoja/tallo y los rendimientos de materia seca total (MS) y materia seca de hojas y tallos.

Los mayores rendimientos de materia seca total se obtuvieron en la frecuencia de corte cada 60 días con  $3,8 \text{ t ha}^{-1}$

pero debido a la competencia que se creó entre la *M. oleifera* y gramíneas invasoras, el experimento solo se extendió por 180 días con reducción paulatina de la productividad. Se concluye que la frecuencia de corte cada 60 días mostró mayores rendimientos de materia seca, sin embargo, la altura de corte empleada favoreció la presencia de plantas invasoras, lo que disminuyó los rendimientos y la sostenibilidad de producción de forrajes del cultivo.

Se registran pocas investigaciones sobre las propiedades de los tallos de caña de azúcar; lo anterior posiblemente porque este material no tiene aplicación estructural. Pero los tallos de caña de azúcar en el proceso de corte por parte de las

cosechadoras sufren gran cantidad de esfuerzos, por lo que el estudio de las propiedades físicas, mecánicas y anatómicas de los tallos es fundamental para optimizar los componentes de las máquinas cosechadoras sometidos a diferentes acciones de tipo tribológico (González, 2006).

Según Perafán (2005), la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) está compuesta por una parte sólida llamada fibra y una parte líquida, el jugo, que contiene agua y sacarosa. En ambas partes también se encuentran otras sustancias en cantidades muy pequeñas.

Las características geométricas y mecánicas de las células de fibras son determinantes de las propiedades globales de los tallos; Leonard *et al.* (1988), asociaron el coeficiente de flexibilidad de los tallos con las dimensiones de las fibras (diámetro, espesor de la pared celular y lumen). En la Tabla 2 se observa la clasificación de las fibras con base en las recomendaciones de Tomolang y Wangaard (1961), que con valores medios del coeficiente de flexibilidad (en porcentaje) clasifican las fibras en cinco categorías (muy gruesa, gruesa, media, delgada y muy delgada).

**TABLA 2. Clasificación de las fibras según resultados del coeficiente de flexibilidad (L/D), fuente: Tomolang y Wangaard (1961)**

Rango de L/D (%)	Espesor de la pared
Menor de 30	Muy gruesa
30-50	Gruesa
50-65	Media
65-80	Delgada
Mayor de 80	Muy Delgada

En otras investigaciones Valdés *et al.* (2019), determinaron las propiedades físico-mecánicas de racimos de banana como parámetros requeridos para el diseño de un sistema de transporte de racimos de banana en zonas montañosas del estado Trujillo, Venezuela. Las propiedades estudiadas fueron parámetros dimensionales e inerciales de los racimos de banana, como el diámetro del raquis, el momento de inercia, la masa, centro de masa, el diámetro y la longitud de los racimos de banana. Los resultados obtenidos arrojan que la media aritmética obtenida para el diámetro del raquis ascendió a 5,41 cm, con una desviación estándar de  $\pm 0,77$  cm; la longitud de los racimos 63,96 cm, con una desviación estándar de  $\pm 14,92$  cm; el diámetro de los racimos ascendió a 33,67 cm, con una desviación estándar de  $\pm 2,69$  cm; la masa de los racimos obtenida ascendió a 16,58 kg, con una desviación estándar de  $\pm 4,91$  kg; la coordenada X del centro de masa de los racimos arribó a 28,84 cm, con una desviación estándar de  $\pm 3,78$  cm y el momento de inercia ascendió a  $0,13 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$  con una desviación estándar de  $\pm 0,11 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ . El mejor modelo ajustado de la relación entre el momento de inercia y la masa de los racimos de bananos fue el método de box – cox con un  $R^2$  de 86,65 %. En cuanto a la relación con el diámetro de los racimos el modelo que mejor se ajustó fue el polinomial con un  $R^2$  de 88,7 %.

Otros autores también se han referido en sus investigaciones a la caracterización mecánica y físico-química del banano tipo exportación (CAVENDISH VALERY) como Millán y Ciro

(2012), que realizaron ensayos de compresión unidireccional mediante pruebas de firmeza, fractura y módulo elástico, y de propiedades físico-químicas como grados Brix, pH y acidez. Obteniendo como resultado que la fuerza de firmeza en la cáscara varió significativamente ( $p < 0.05$ ) respecto al tiempo poscosecha al presentar un valor entre el primero y el último día de 16,49 N y 12,39 N, respectivamente. En las pruebas de fuerza de fractura y esfuerzo de falla se encontró que el producto presenta una mayor resistencia mecánica bajo ensayos de flexión, y una disminución en el valor del módulo elástico bajo ensayos de compresión y flexión durante el período poscosecha, lo que constituye el ablandamiento del fruto; esta pérdida de rigidez es uno de los cambios más evidentes durante el período de almacenamiento, propia de materiales viscoelásticos. Las pruebas físico-químicas realizadas a la pulpa del banano mostraron un aumento significativo ( $p < 0.05$ ) en el contenido de grados Brix y acidez, y una disminución significativa ( $p < 0.05$ ) en el pH durante la madurez.

También en el diseño de la maquinaria dirigida a la cosecha de productos, en este caso la papa resulta importante el conocimiento de sus propiedades físicas y mecánicas, según Rosario (2015), para el desarrollo de una máquina clasificadora de semilla de papa en la zona alta del estado Trujillo. Los resultados arrojan que la semilla de papa variedad Granola, presentan una media de 51,73 mm de largo, 66,81 mm de ancho, 43,18 mm de espesor, las cuales se emplean para el cálculo fundamentado de parámetros de diseño.

### Tecnologías para el procesamiento y corte de forraje fresco, para la alimentación del ganado

Las propiedades anteriormente analizadas, varían según el producto agrícola, esto se debe a su forma, contenido de humedad, firmeza, entre otras características. Se plantea que para el caso del transporte de racimos de bananos por cable vía, la determinación de las propiedades físico-mecánicas de los productos agrícolas a transportar resulta una etapa indispensable ya que constituyen datos de entrada durante la evaluación de los modelos teóricos elaborados para el cálculo de los diferentes parámetros de diseño, constructivos y de explotación de las máquinas picadoras de forraje, según Valdés *et al.* (2008), Valdés *et al.* (2009, 2015) y Valdés y Martínez (2012),

Las características asociadas al forraje, tales como tiempo de retención, tamaño de partícula y densidad, pueden afectar la respuesta animal en dietas altas en grano (Gill *et al.*, 1981). Los resultados de Thompson y Lamming (1973), indican que la tasa de almidón se incrementó cuando se redujo el tamaño de partícula de forraje. Todos estos factores de nivel, tamaño de partícula, forma y fuente de forraje podrían ser considerados para elaborar modelos de simulación para predecir los cambios en la digestión del almidón (Mendoza y Ricalde, 2016).

En los últimos 20 años, el Centro de Investigación en Mecanización Agropecuaria (CEMA), ha desarrollado varias investigaciones encaminadas primeramente, al diseño y construcción de las máquinas picadoras de forraje para el procesamiento de tallos gruesos y posteriormente a su perfeccionamiento, llevadas a cabo por parte de diferentes investigadores, según Mar-

tínez *et al.* (1998), para el caso de picadoras de tallos gruesos con órgano de corte del tipo disco, así como por Valdés (2008); Valdés *et al.* (2009); Valdés y Martínez (2011, 2012), realizando la elaboración de un modelo teórico físico-matemático del proceso tecnológico, para el caso de picadoras con *órgano de corte del tipo tambor*, que interrelaciona las propiedades físico mecánicas del material a procesar, con los parámetros de diseño y de explotación, el cual se validó experimentalmente con el prototipo de picadora de forraje de producción nacional MF-IIIMA modelo EM-01, durante el desmenuzamiento de tallos de caña de azúcar variedad C323-68, y se obtuvo la influencia del momento de inercia y de diferentes ángulos de alimentación constante y variable, sobre el calibre de las partículas, la productividad y la potencia consumida.

Dicho modelo desarrollado permitió la predicción del flujo o productividad, del calibre de las partículas y del consumo de

potencia, con errores de pronóstico no superiores a 19,04, 22,3 y 5,7 % respectivamente, con un nivel de significación del 1%, para valores racionales del momento de inercia del tambor, calculados sobre la base del modelo teórico. La racionalización del momento de inercia en el órgano de trabajo de dicho prototipo, produjo un incremento en la calidad del desmenuzamiento, que se manifestó en un mayor porcentaje de partículas con calibres por debajo de 20 mm entre 43 y 48 % y una disminución en el consumo de potencia entre 22 y 23 %. Posteriormente dicha picadora modificada a partir de los resultados obtenidos, se evaluaron y compararon los indicadores tecnológicos y de explotación, con respecto a la picadora de origen brasileño JF-50, en las condiciones de producción de las entidades ganaderas del Instituto de Ciencia Animal (ICA), según Valdés *et al.* (2015, 2017), obteniéndose resultados positivos a favor de la picadora de fabricación nacional, la que se muestra en la Figura 4.



a-



b-

FIGURA 4a). Picadora de forraje MF IIMA modelo EM-01 perfeccionada, b). Órgano de trabajo del tipo tambor con los platos laterales agregados por Valdés y Martínez (2011, 2012).

Por lo que, en las tecnologías para el procesamiento y corte del forraje, según Rodríguez *et al.* (2015), se requiere de una correcta selección de equipos y maquinarias necesarios en la promoción de tecnologías de alimentación para el ganado, se debe contar con respaldo técnico y garantías para resolver problemas, reparar daños en equipos (picadoras, motores, etc.), el apoyo del proyecto mediante el suministro de semillas, insumos y equipos.

Se conoce que el trópico se caracteriza por una época seca bien definida hay una marcada estacionalidad en la producción de pastos y forrajes, con alta disponibilidad y calidad de forrajes durante el período de lluvias, mientras que lo opuesto (baja disponibilidad y calidad) ocurre en el período seco. La escasez de pastos y la baja calidad de los mismos

en el período seco resultan en una reducción drástica en los niveles productivos (carne y leche) del ganado bovino y de otros herbívoros (Reyes *et al.*, 2009).

En la figura 5 y 6 se muestran algunas máquinas picadoras de forraje. En la industria de diseño y producción de la maquinaria especializada para el corte del forraje se puede destacar la NOGUEIRA de Brasil, ha puesto su empeño en diseñar máquinas forrajeras de gran eficiencia y productividad para la alimentación animal, como el Modelo EN-12 y el Modelo DPM-4, de la Figura 5. Además, en la Figura 6 se muestran algunos modelos de la firma AZTECA de origen mexicana, a). Modelo 18-32, b). Modelo 20-36, c). Picadora de forraje eléctrica modelo AZTECA y d). Picadora de forraje para acoplar a tractor modelo AZTECA, según Valdés (2008).

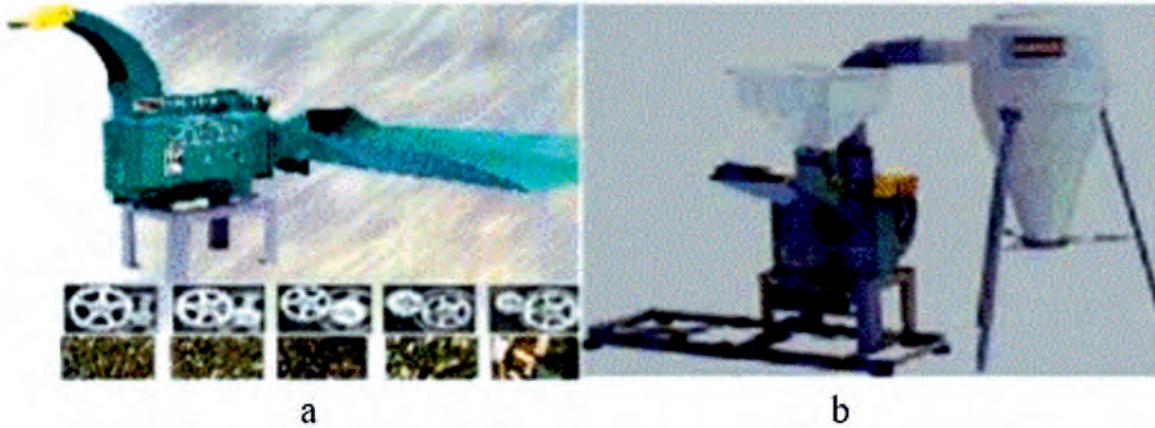


FIGURA 5a). Modelo EN-12, b). Modelo DPM-4, fuente: Valdés (2008).

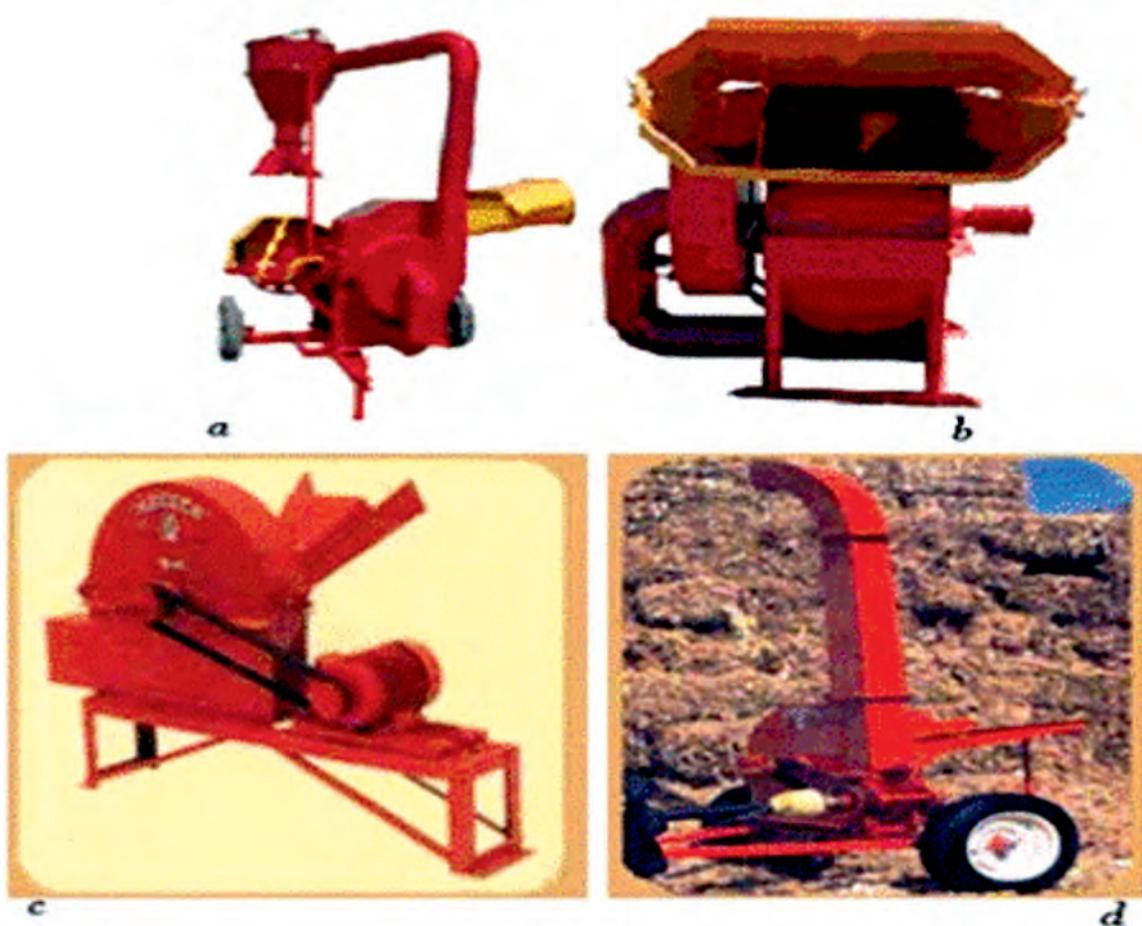


FIGURA 6a). Modelo 18-32, b) Modelo 20-36, c). Picadora de forraje eléctrica modelo AZTECA, d). Picadora de forraje para acoplar a tractor modelo AZTECA, fuente Valdés (2008).

Existe diferentes equipos para los requerimientos tecnológicos donde se aprecia que predominan dos tipos de órganos de trabajo: los de disco y los de tambor, así como dos sistemas de alimentación de la masa vegetal a los órganos picadores: el forzado y el manual, presentando el primero la ventaja de garantizar una mejor uniformidad de alimentación y por ende un mejor control del calibre de las partículas desmenuzadas, mientras que el segundo se caracteriza por su sencillez y bajo costo.

## CONCLUSIONES

- Las propiedades físico – mecánicas de los tallos de plantas forrajeras, **más estudiadas para la producción de alimento animal** se encuentran: diámetro y longitud de los tallos, masa específica o densidad, fuerza de corte, energía y energía específica de corte, coeficiente de fricción estático y dinámico, ya que estas tienen una relación directa con los modelos de cálculos empleados para la determinación de productividad,

- |   |   |
|---|---|
| <p>tamaño de partícula y consumo de potencia de las maquinas picadoras de forrajes.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Durante la revisión realizada se pudo constatar que no existe la determinación de las propiedades físico-mecánicas, con</li></ul> | <p>vista al diseño y perfeccionamiento de las maquinas picadoras de forraje, de los tallos de morera, tithonia, moringa, entre otras plantas, empleadas como alternativas en Cuba para la producción de forraje y pienso.</p> |
|---|---|

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABALONE, R.; CASSINERA, A.; GASTÓN, A.: "Some Physical Properties of Amaranth Seeds", *Biosystems Engineering*, 89(1): 109–117, 2004, ISSN: 1537-5110, e-ISSN: 1537-5129.
- ACOSTA, G.O.: "Siembran más plantas proteicas para alimentar el ganado", *Agencia Cubana de Noticias (ACN)*, La Habana, Cuba, 2017, *Disponible en:* <http://www.acn.cu/economia/26743-siembran-mas-plantas-proteicas-para-alimentar-el-ganado>, [Consulta: 29 de junio de 2018].
- ALONSO, I.: *Presentan en Cuba texto sobre uso de plantas proteicas en Latinoamérica y el Caribe*, [en línea], Inst. Sistema de Naciones Unidas en Cuba, FAO/Cuba/ONU, La Habana, Cuba, 2017, *Disponible en:* <http://onu.org.cu/news/e3030b5c368811e7a36800163e211c9e/presentan-en-cuba-texto-sobre-uso-de-plantas-proteicas-en-latinoamerica-y-el-caribe/>, [Consulta: 29 de junio de 2018].
- AYDIN, C.; OGUT, H.; KONAK, M.: "Some Physical Properties of Turkish Mahaleb", *Biosystems Engineering*, 82(2): 231-234, 2002, ISSN: 1537-5110, e-ISSN: 1537-5129.
- CHATTOPADHYAY, P.; PANDEY, K.: "Mechanical properties of sorghum stalk in relation to quasi-static deformation", *Journal of Agricultural Engineering Research*, 73(2): 199-206, 1999, ISSN: 0021-8634.
- ELÍAS, A.; LEZCANO, O.A.; LEZCANO, P.; CORDERO, J.; QUINTANA, L.: "Reseña descriptiva sobre el desarrollo de una tecnología de enriquecimiento proteico de la caña de azúcar mediante fermentación en estado sólido (Saccharina)", *Rev. cubana Cienc. agric.*, 24(1): 1-12, 1990, ISSN: 0034-7485, ISSN-pi: 0864-0408, ISSN-de: 2079-3472, ISSN-di: 2079-3480.
- FERNÁNDEZ, P.M.: *Determinación de las propiedades físicas-mecánicas de ramas en verde de haya (Fagus sylvatica L.) procedentes del Hayedo de Montejo de la Sierra de Madrid*, [en línea], 2015, *Disponible en:* [http://oa.upm.es/39001/1/PFG\\_Marta\\_Fernandez\\_Plana.pdf](http://oa.upm.es/39001/1/PFG_Marta_Fernandez_Plana.pdf), [Consulta: 22 de noviembre de 2019].
- GONZÁLEZ, H.: *Análisis del corte de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) con cuchillas metálicas*, Universidad Nacional de Colombia, Tesis Magíster en Ingeniería de Materiales y Procesos, Medellín, Colombia, 120 p., 2006.
- GONZÁLEZ, I.: "Plantas proteicas renuevan la alimentación animal en Cuba", *Inter Press Service (IPS). Agencia de Noticias*, La Habana, Cuba, 2018, *Disponible en:* <http://www.ipsnoticias.net/2017/10/plantas-proteicas-renuevan-la-alimentacion-animal-cuba/>, [Consulta: 29 de junio de 2018].
- LEDEA, R.J.L.; ROSELL, A.G.; BENÍTEZ, J.D.G.; ARIAS, P.R.C.; RAY, R.J.V.; NUVIOLA, P.Y.: "Efecto del ecotipo y la frecuencia de corte en el rendimiento forrajero de Moringa oleifera Lam, en el Valle del Cauto", *Revista de Producción Animal*, 29(3): 12-17, 2017, ISSN: 2224-7920.
- LEONARD, M.; DUTHIL, N.; HERNÁNDEZ, B.; HERNÁNDEZ, E.I.: "Caracterización anatómica morfológica de cinco variedades de caña", *Revista Cuba & Caña*, abril-junio: 11-14, 1988, ISSN: 1028-6527.
- MARTÍN, P.C.: "El uso de la caña de azúcar para la producción de carne y leche", *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 39(Esp.): 427-437, 2005, ISSN: 0034-7485, ISSN-pi: 0864-0408, ISSN-de: 2079-3472, ISSN-di: 2079-3480.
- MARTÍNEZ, A.; NÚÑEZ, J.Y.; VALDÉS, H.P.: "Modelos para el cálculo de molinos desmenuzadores de tallos gruesos de tipo disco", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 7(1): 1-7, 1998, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- MENDOZA, G.D.; RICALDE, R.: *Alimentación de ganado bovino con dietas altas en grano*, [en línea], 2016, *Disponible en:* <http://bida.uclv.edu.cu/handle/123456789/11934>, [Consulta: 19 de noviembre de 2019].
- MILLÁN, C.L. de J.; CIRO, V.H.J.: *Caracterización mecánica y físico-química del banano tipo exportación (Cavendish Valery)*, [en línea], Ed. Corporación Universitaria Lasallista, Colombia, 2012, ISBN: 978-958-8406-14-5, *Disponible en:* <http://hdl.handle.net/10567/136>; <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/handle/10567/136>, [Consulta: 22 de noviembre de 2019].
- MOHSENIN, N.: *Physical properties of plant and animal materials*, Ed. Gordon and Breach Science Publishers, Inc, New York, USA, 1985.
- NIMKAR, P.M.; CHATTOPADHYAY, P.K.: "Some Physical Properties of Green Gram", *J. Agric. Engng. Res. PH-Postharvest Technology*, 80(2): 183-189, 2001.
- OLEA, E.; GONZÁLEZ, H.; CHAVESTA, M.; ACEVEDO, M.; VÁZQUEZ, B.J.: "Caracterización anatómica y físico mecánica de las fibras de "Tamshi"(heteropsis flexuosa (kunth) gs bunting) proveniente de Echarate-La Convención, Cusco", *Folia Amazónica*, 27(2): 231-246, 2018, ISSN: 2410-1184.
- PERAFÁN, F.: "La caña de azúcar: Descripción general y particularidades en Colombia", [en línea], En: *Azúcar de Caña*, Colombia, 2005, *Disponible en:* [http://www.perafan.com/ea02\\_cana.html](http://www.perafan.com/ea02_cana.html), [Consulta: 19 de noviembre de 2019]d. C.
- PÉREZ, H.; VIZÁN, A.; HERNÁNDEZ, J.C.; GUZMÁN, M.: "Estimation of cutting forces in micromilling through the determination of specific cutting pressures", *Journal of Materials Processing Technology*, 190(1-3): 18-22, 2007.
- REYES, N.; MENDIETA, B.; FARIÑAS, T.; MENA, M.; CARDONA, J.; PEZO, D.: *Elaboración y utilización de ensilaje en la alimentación del ganado bovino*, [en línea], Repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr, 2009, *Disponible en:* <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7886/173.pdf?sequence=2&isAllowed=y>, [Consulta: 20 de noviembre de 2019].
- RODRÍGUEZ, S.A.; RODRÍGUEZ, G.R.; MARÍN, Y.E.; RODRÍGUEZ, D.: *Alimentación bovina en épocas críticas de verano en la zona seca de Las Segovias, Nicaragua*, [en línea], 2015, *Disponible en:* <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/97434>, [Consulta: 23 de noviembre de 2019].

- ROSARIO, A.: *Determinación de las propiedades físico-mecánicas y parámetros requeridos para el desarrollo de una máquina clasificadora de semilla de papa en la zona alta del Estado Trujillo, Venezuela*, Instituto de Tecnología del Estado de Trujillo, Tesis en opción al Título de Máster en Maquinaria Agrícola, Trujillo, Venezuela, 17 p., 2015.
- THOMPSON, F.; LAMMING, G.E.: “The flow of digesta, dry matter and starch to the duodenum in sheep given rations containing straw of varying particle size”, *British Journal of Nutrition*, 28: 391-403, 1973, ISSN: 0007-1145, e-ISSN: 1475-2662.
- TOMOLANG, F.N.; WANGAARD, F.F.: “Relationships between hardwood fiber characteristics and pulp properties”, *Tappi*, 44(3): 201-216, 1961.
- VALDÉS, H.P.; IGLESIAS, C.C.: “Propiedades físico-mecánicas que caracterizan la resistencia mecánica del conjunto rama-pedúnculo-fruto del tomate variedad campbell-28 como objeto de la mecanización de su cosecha”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 11(4): 35-40, 2002a, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- VALDÉS, H.P.; SUÁREZ, J.; MARTÍNEZ, R.A.; GÓMEZ, A.M.V.; JIMÉNEZ, Y.: “Propiedades físico-mecánicas de racimos de banana como objeto de transportación en cable aéreo”, [en línea], En: *II Convención Científica Internacional, Cayos de Villa Clara, Cuba*, Cayos de Villa Clara, Cuba, 2019, Disponible en: [https://convencion.uclv.cu/es\\_ES/event/ix-conferencia-cientifica-internacional-desarrollo-agropecuario-y-sostenibilidad-agrocentro-2019-ix-simposio-de-ingenieria-agricola-2019-06-24-2019-06-29-23/track/propiedades-fisico-mecanicas-de-racimos-de-banana-como-objeto-de-transportacion-en-cable-aereo-1807](https://convencion.uclv.cu/es_ES/event/ix-conferencia-cientifica-internacional-desarrollo-agropecuario-y-sostenibilidad-agrocentro-2019-ix-simposio-de-ingenieria-agricola-2019-06-24-2019-06-29-23/track/propiedades-fisico-mecanicas-de-racimos-de-banana-como-objeto-de-transportacion-en-cable-aereo-1807), [Consulta: 22 de noviembre de 2019].
- VALDÉS, H.P.A.: *Modelación físico - matemática del proceso tecnológico del órgano de corte de tambor en las picadoras de forraje con alimentación manual*, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas Agropecuarias, San José de las Lajas. Habana, Cuba, 196 p., 2008.
- VALDÉS, H.P.A.; DE LAS CUEVAS, H.; RODRÍGUEZ, A.D.; SUÁREZ, L.R.; GÓMEZ, A.M.V.; DELGADO, R.R.: “Determinación de los indicadores tecnológicos y de explotación de la máquina picadora de forraje MF IIMA modelo EM-01 modificada”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(3): 28-34, 2015, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- VALDÉS, H.P.A.; DE LAS CUEVAS, H.; RODRÍGUEZ, A.D.; SUÁREZ, L.R.; GÓMEZ, A.M.V.; DELGADO, R.R.: “Análisis comparativo de los costos de explotación de dos máquinas picadoras de forraje”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 26(2): 4-11, 2017, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- VALDÉS, H.P.A.; GONZÁLEZ, D.; MARTÍNEZ, R.A.: “Determinación experimental de propiedades físico – mecánicas de la caña de azúcar para su procesamiento en molinos forrajeros”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 17(2): 1-6, 2008, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- VALDÉS, H.P.A.; IGLESIAS, C.C.: “Propiedades físico-mecánicas que caracterizan el movimiento del fruto sobre diferentes superficies para el tomate variedad Campbell-28 como objeto de la mecanización de su cosecha”, *Propiedades físico-mecánicas que caracterizan el movimiento del fruto sobre diferentes superficies para el tomate variedad Campbell-28 como objeto de la mecanización de su cosecha*, 11(3): 7-12, 2002b, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- VALDÉS, H.P.A.; MARTÍNEZ, A.; PÉREZ, J.: “Análisis de la caña de azúcar como alimento para el ganado”, *Revista Pre-Till de la Universidad Piloto de Colombia*, 10(26): 59-74, 2012, ISSN: 1692-6900.
- VALDÉS, H.P.A.; MARTÍNEZ, R.A.: “RACPIC-Software para la determinación racional de los parámetros de trabajo de las picadoras de forraje del tipo tambor con alimentación manual”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(2): 80-85, 2011, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- VALDÉS, H.P.A.; MARTÍNEZ, R.A.: “Validación del modelo de cálculo de la potencia consumida por las picadoras de forraje del tipo de tambor con alimentación manual”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(2): 5-10, 2012, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- VALDÉS, H.P.A.; MARTÍNEZ, R.A.; AJALLA, P.R.; BRITO, D.E.; ALBÓNIGA, R.: “Influencia del ángulo de deslizamiento y la velocidad de la cuchilla sobre la energía específica durante el corte de tallos de caña de azúcar”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(1): 21-26, 2009, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- VALDÉS, H.P.A.; MARTÍNEZ, R.A.; SUÁREZ, H.J.; GÓMEZ, A.M.V.: “Modelo teórico de un sistema de transportación de racimos de bananos en laderas”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 27(3): 5-14, 2018, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- VILCHE, C.; GELY, M.; SANTALLA, E.: “Physical Properties of Quinoa Seeds”, *Biosystems Engineering*, 86(1): 59–65, 2003, ISSN: 1537-5110, e-ISSN: 1537-5129.
- VURSAVUS, K.; OZGUVEN, F.: “Resistente of Pine Nut to Compressive Loading”, *Biosystems Engineering*, 90(2): 185–191, 2005, ISSN: 1537-5110, e-ISSN: 1537-5129.

---

Dayami Veliz-Romeu, Investigadora, Delegación de la Agricultura de Guane, MINAG, Guane, Pinar del Río, Cuba, e-mail: [dayami.veliz@nauta.cu](mailto:dayami.veliz@nauta.cu)

Pedro A. Valdés-Hernández, Profesor Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, Teléf.: 47-860-306, e-mail: [pvaldes@unah.edu.cu](mailto:pvaldes@unah.edu.cu)

Pablo Manuel Hernández-Alfonso, Profesor Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: [phernand@unah.edu.cu](mailto:phernand@unah.edu.cu)

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

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

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