

Determinación de las propiedades elásticas del cultivo de guayaba de la variedad Calvillo Medio Chino (*Psidium guajava* L.)

Determination of the cultivation elastic properties of the Calvillo Medio Chino (Psidium guava L.) guava variety

Ing. Ania Vilma Carballosa de la Paz¹, Dr.C. Benjamín Gabriel Gaskins Espinosa¹, Dr. Constantino Valera^{II}, Dr. Alfredo Maciel^{III}

¹Universidad de Granma, Facultad de Ciencias Técnicas, Bayamo, Granma, Cuba.

^{II}Universidad Politécnica de Madrid, Facultad de Ingeniería Rural, Madrid, España.

^{III} Instituto de Materiales, México, DF, México.

RESUMEN. Como parte de un trabajo de investigación dirigido al estudio con vista al desarrollo de la poda mecanizada de este cultivo, es imprescindible contar con un conjunto de datos que es necesario determinar experimentalmente. En el Guayabo, la rotura del tallo durante la cosecha y la presentación durante el período de fructificación son defectos importantes en algunos cultivares. Estos defectos están vinculados a las propiedades físico-mecánicas de la madera, tales como la densidad o rigidez, que se caracteriza por un parámetro utilizado en la resistencia de los materiales: Tales el módulo de elasticidad (MOE) (torsión y flexión, límite de fluencia), el coeficiente de Poisson, que componen al árbol. La determinación de esta propiedad se determinó en las ramas de los propios árboles que servirán de base para los estudios de la transmisión experimental para poda mecanizada en estas variedades de árboles.

Palabras clave: propiedades físico-mecánicas, poda mecanizada.

ABSTRACT. As part of a research study aimed at facing the development of mechanized pruning of this crop, it is essential to have a set of data that needs to be determined experimentally. In Guava stem breakage during harvesting and presentation during the fruiting period are major flaws in some cultivars. These defects are related to the physical-mechanical properties of the wood, such as density or rigidity, characterized by a parameter used in the resistance of materials: Such modulus of elasticity (MOE) (torsion and bending limit creep), Poisson's ratio, making up the tree. The determination of this property is determined by the branches of the trees themselves as a basis for experimental transmission studies for mechanized pruning trees in these varieties.

Keywords: physical properties, mechanical properties.

INTRODUCCIÓN

Cada cultivo tiene propiedades, características propias (Amalin, *et al.*, 2003, Ghaffar, *et al.*, 2011). El árbol de guayabo es de consistencia dura y leñosa (Cilas *et al.*, 2006). Estos son los factores que principalmente influyen sobre las propiedades físico-mecánicas de las plantas agrícolas (Hernández, *et al.*; 2008). Lo cual ha reportado altos valores de la desviación media cuadrática de tales propiedades. Esto quiere decir que existen diferencias entre un árbol y otro (incluso de la misma

plantación, edad, variedad) (Damián, 2004; Gabriel, 2004). Por la gran demanda a nivel internacional que presenta el guayabo es necesario realizar investigaciones sobre las características físicas mecánicas para saber cómo debemos trabajar con la planta para aumentar sus rendimientos (ASERCA, 2009). Varios autores como Bouza, *et al.* (2007); Pérez de Corcho (2006); Sanchis, *et al.* (2004); Guerra, *et al.* (2003), han determinado las propiedades físico mecánica de otros cultivos tales como

(bambú, Nim, toronja, la piña) pero sobre este fruto, hasta la actualidad, no se han realizado investigaciones al respecto.

Los factores que principalmente influyen sobre las propiedades físico-mecánicas de las plantas agrícolas, en relación con el proceso de corte, se encuentran el tipo y variedad de cultivo la edad (madurez) de la planta, la humedad y el área (diámetro) de la sección de corte (Rueda *et al.*, 2009; Metwally *et al.*, 2011; Serrano, 2008). Cada cultivo tiene propiedades sus características propias, que es necesario considerar para lograr elevada eficiencia durante el trabajo de los órganos de corte; Los requerimientos de energía para el corte de diferentes cultivos varían, lo que es atribuido al incremento del diámetro y de la resistencia de los tallos; La energía de corte para un tallo se incrementa con el diámetro y el área de la sección transversal del mismo (Fuentes, 2006). La fuerza de corte disminuye con el incremento de la humedad y se incrementa al aumentar la sección transversal de los tallos (Singh, 2007). Durante el empleo de máquinas con aparatos de corte, los requerimientos de energía y el consumo de combustible de conjunto máquina-tractor dependen de la variedad de planta cortada (Sánchez, 2011). El contenido de fibras y la alta resistencia de las plantas elevan la demanda de energía y el consumo de combustibles de las máquinas cortadoras. (Pérez de Corcho, 2006). A pesar de la importancia de propiedades mecánicas en tareas al cultivo del guayabo en función de reducir la demanda de energía, las propiedades mecánicas en la flexión y en la torsión de este cultivo no son conocidas. La meta de este trabajo fue determinar el estrés, la tensión y el módulo elástico en la flexión y en la torsión, y la relación entre la altura del árbol y altura de la copa en el cultivo de la Guayaba.

MÉTODOS

Materiales y métodos empleados para la determinación experimental de las propiedades físico-mecánicas

La determinación de las propiedades mecánicas se realizó en ramas de la variedad de guayabo Calvillo Medio Chino (*Psidium guayaba* L.) perteneciente a la parcela experimental de la Universidad de Granma, ubicada a 96 msnm, con un marco de plantación de 3.00 × 2.00 m y una edad de 6 años, debido a que el arbusto ha alcanzado su etapa adulta en producción y desarrollo morfológico. La temperatura atmosférica en los días de evaluación osciló de 27 a 30°C, y la humedad relativa de 82 a 89%.

Para la selección de la muestra los arbustos para el muestreo fueron seleccionados con un diseño completamente aleatorizado donde se aplicó el método de la diagonal al azar, para evitar el efecto de borde (De la Loma, 2003). El tamaño de la muestra, para cada una de las propiedades del objeto de estudio, se determina a partir de la medición de la propiedad estudiada en un pre-experimento con un tamaño de muestra de 25 plantas (Luyarati, 1997).

El cálculo la ecuación para la determinación del tamaño

de muestra por la expresión siguiente:

$$n = \frac{\sigma^2 \cdot t^2}{\Delta^2} \quad (1)$$

donde:

n: Tamaño de la muestra requerido;

σ : Desviación media cuadrática obtenida en el pre-experimento;

Δ : Error máximo de la media deseado;

t: Criterio de Student para el tamaño de la muestra del pre-experimento y el nivel de probabilidad o significación declarado (90%).

Características dimensionales del objeto de investigación

Diámetro diagonal y transversal de las ramas plagiotrópicas y ortotrópicas en la base, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ (**d1**, **dt**), mm;

Diámetro longitudinal y trasversal de la copa (**dl2**, **dt2**), m;

Altura de la copa (**h_c**), m.

Para la determinación de la altura de la copa se tomó como la diferencia entre la altura de la planta y la altura del tronco.

$$h_c = h - h_t, \text{ m} \quad (2)$$

donde:

h_t : Altura de la rama más baja desde el suelo (m);

h: Alto total de la planta (m).

Determinación del módulo de distorsión de las ramas

Para la determinación del módulo de distorsión se seleccionaron tres segmentos de rama de diferente sección transversal. El experimento se realiza fijando la rama rígidamente por uno de sus extremos, y el otro extremo en un simple apoyo que le permite rotar sobre su eje y absorber las posibles cargas transversales. En el extremo libre, a una longitud (*l*) se aplica una fuerza (*P*) provocando momentos torsores conocidos de diferentes magnitudes, determinándose el ángulo de distorsión (ϕ) que se obtiene para la magnitud de torque aplicado. A partir de la determinación del momento polar de inercia (J_p) para cada sección transversal de las ramas analizadas, se calcula entonces para cada repetición, el módulo a la torsión según la expresión.

$$\tau = \frac{P \cdot l}{\phi \cdot J_p}, \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} \quad (3)$$

$$J_p = \frac{\pi \cdot D^4}{32}, \text{ m}^4 \quad (4)$$

donde:

τ : Módulo a la torsión ($\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$);

P: Fuerza aplicada (N);

l: Brazo de la fuerza (m);

ϕ : Ángulo de distorsión ($^\circ$);

J_p : Momento polar de inercia (m^4);

D: Diámetro de la rama (m).

Determinación del módulo de elasticidad de las ramas

La determinación del módulo de elasticidad a la flexión se realiza al apoyar las ramas en sus extremos según la Figura 2, determinándose para diferentes magnitudes de cargas (P) aplicadas en el punto medio del segmento de la rama de longitud (L), temándose el valor del desplazamiento (y) de la rama de dicho punto cuando se le aplica la carga. De esta forma, a partir de la determinación previa del momento de inercia (Ir) de cada rama se determina, para cada repetición, la magnitud del módulo de elasticidad según la expresión 5.

$$E = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot y \cdot I_r}, N \cdot m^{-2} \tag{5}$$

donde:

E: Módulo de elasticidad (N·m⁻²);

P: Fuerza aplicada (N);

Ir: Momento de inercia (m⁴);

L: Longitud de la rama (m);

y: Desplazamiento (m).

Determinación límite del fluencia de las ramas

La determinación del límite de fluencia se realiza de forma similar a la determinación del módulo de elasticidad. Se aplican cargas conocidas (P) en los segmentos de ramas de longitud (L) y diámetro de la sección transversal (D), anotándose la magnitud de dicha carga en el momento de producir una deflexión significativa en el segmento de la rama, El límite de fluencia de la rama se determina a partir de la expresión:

$$\sigma = \frac{8 \cdot P \cdot L}{\pi \cdot D^3}, N m^{-2} \tag{6}$$

donde:

σ: Límite de fluencia (N·m⁻²);

P: Fuerza aplicada (N);

L: Longitud de la rama (m);

D: Diámetro de la sección transversal del tallo (m).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1, se muestran los valores medios y la desviación media cuadrática de los resultados de las características dimensionales. La mediana poblacional de la altura de las plantas del guayabo variedad Rosada Enana es de 2,221 m y tiene una desviación de 0,227 m, y el coeficiente de correlación es alto 0,98 entre ésta y la altura de la copa, este valor se debe a que fueron dejadas ramas más altas durante la poda (Kumar *et al.*,2010).

El coeficiente de regresión de R²= 0.96 por lo que podemos inferir que existe una estrecha relación entre la altura de la copa y la altura de la planta (Figura 3), estos resultados son similares a los obtenidos por Martínez (2005), 0,215 m de altura de la planta y desviación 0,219 m.

TABLA 1. Características de la planta de guayabo

Variables	Mediana	Std. Dev.	Error
ALTPLANT	2,221	0,227	0,062
ALTCOPA	1,944	0,237	0,078
DLOGCOP	1,130	0,181	0,054
DTVCOPA	1,405	0,288	0,086
HRMASB	0,282	0,050	0,013
LRV1	1,884	0,270	0,081
LRV2	1,780	0,632	0,056
LRV3	1,685	0,602	0,090
HDMLC	1,443	0,227	0,061
HDMTC	1,423	0,182	0,054
DRV1-½	0,019	0,002	0,008
DRV2-½	0,016	0,005	0,015
DRV3-½	0,018	0,004	0,012
DRV1-¾	0,020	0,002	0,006
DRV2-¾	0,017	0,004	0,014
DRV3-¾	0,019	0,008	0,044
NRV	3,000	0,66	0,002

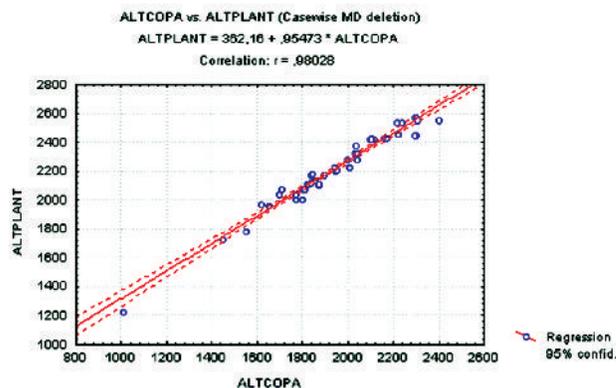


FIGURA 3. Análisis de correlación entre altura de la planta y altura de la copa.

Por otro lado, se obtuvo un intervalo de confianza del diámetro para la primera rama de 9,86 a 11,98 mm y en la segunda de 6,51 a 7,73 mm, con un nivel de significación de 95% (Tabla 2).

TABLA 2. Estadística descriptiva

Variable	Nº muestra	Máximo	- 95%	95%	Máximo	Mínimo	
Diámetro 1	25	10,92	9,86	11,98	6,00	18,00	2,56
Diámetro 2	25	7,12	6,51	7,73	5,00	12,00	1,48

Después de haber calculado los esfuerzos para cada rama, luego de haberle aplicado la carga se determino la deformación existente en cada uno de los diámetros (Figura 4), donde se puede apreciar que existe mayor deformación y resistencia en los tallos de menor diámetro ya que en estos existe menor madurez y por ende mayor flexibilidad.

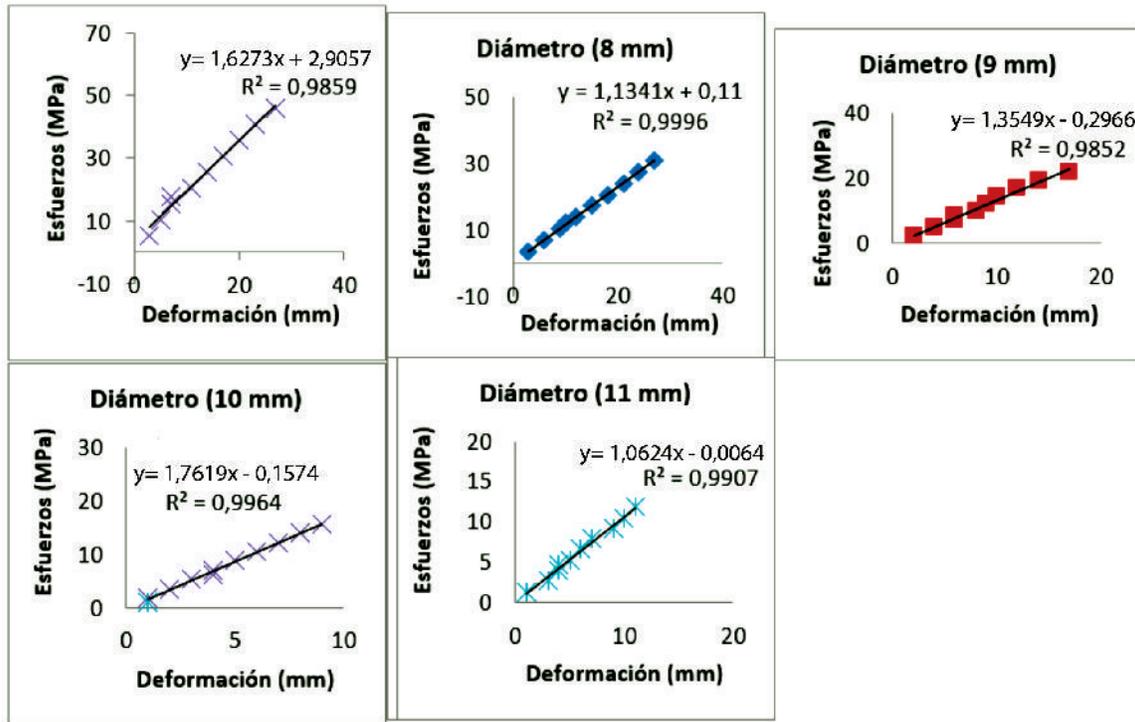


FIGURA 4. Diagrama esfuerzo-deformación a partir de ensayo de flexión.

Después de procesados los datos del módulo a la torsión de las ramas, se observó que este varía en dependencia del diámetro de las ramas, longitud y estado fisiológico; existe una tendencia a un mayor ángulo cuando el diámetro y el estado fisiológico son menores (Figura 5), lo que indica que hay una alta correlación entre las variables analizadas.

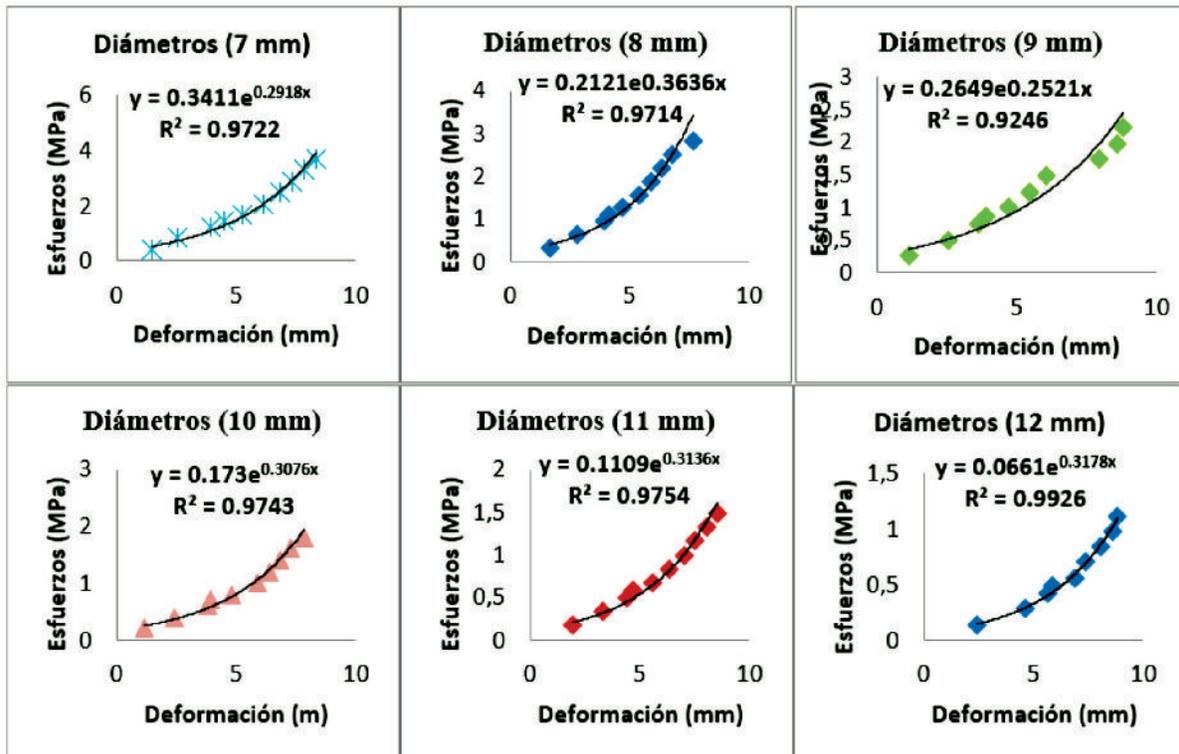


FIGURA 5. Esfuerzos contra deformación para diferentes diámetros en ensayo de flexión.

El módulo de torsión elástico en contra del diámetro de la rama en una carga dada de 400 g es presentada (Figura 6). Los datos siguieron un comportamiento exponencial con un factor de correlación de 0.85, indicar que hay una mayor dispersión de datos en el módulo elástico a la flexión que en el módulo de torsión elástico, aunque el comportamiento a la flexión siguiera una tendencia lineal.

Como resultado del procesamiento de los datos para la determinación del módulo de elasticidad y el límite de fluencia de las ramas, se obtuvo un intervalo de confianza del diámetro de 8,73 a 10,07 mm, con un nivel de significación del 95% (Tabla 3), y de $1,02 \cdot 10^{-11}$ a $1,77 \cdot 10^{-11}$ N·m⁻² y de 2,06 a 3,11 N·m⁻² para el módulo de elasticidad y límite de fluencia respectivamente.

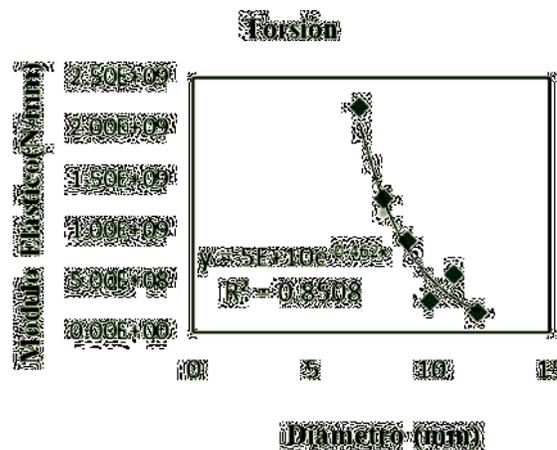


FIGURA 6. Módulo de torsión elástico en una carga de 400 g con diámetros de la rama.

TABLA 3. Estadística Descriptiva

Variable	Nº muestra	Máximo	-95%	95%	Máximo	Mínimo
Diámetro (mm)	25	9,40	8,73	10,07	7	12
						1,63

CONCLUSIONES

- Para el módulo de elasticidad y el límite de fluencia se obtuvo que a menor diámetro existe mayor flexibilidad.

- En el cálculo al módulo a la torsión obtenido para las ramas de diferentes diámetros se pudo concluir que existe mayor ángulo de torsión a menor diámetro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMALIN, D.M., J. PENA & R. MCSORLEY: "Development of three SAC spiders occurring on lime orchards at Homestead, Florida", *Proc. Florida State Hort. Soc.*, 116: 44-46. 2003.
- ASERCA. *Estudios del mercado mundial de la guayaba*, revista claridades agropecuarias, pp. 3-14, 2009.
- BOUZA, M. Y.; A. MARTÍNEZ; D. MEDEROS; P. PÉREZ: Determinación de propiedades físico-mecánicas de los frutos del Nim relacionadas con la cosecha mecanizada por vibración, *Revistas Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16 (3): 37-42, 2007.
- COSTES, E.: *Traumatismes destines à ameliorer la production des arbres fruitiers tropicaux. Tradition et avenir des techniques de taille*, 81pp., Academie de Montpellier, París, France, 1983.
- Cuba a la mano: *Frutales en ascenso. 16 de julio*. [en línea] julio 16 2010, Disponible en: <http://www.frutalesenascenso> [Consulta: mayo 18 2013].
- DAMIAN, N.A.; GONZALEZ, V.A.; SANCHEZ, G.P.: «Crecimiento y fenología del guayabo (*Psidium guajava* L.) cv.», *Rev. Fitotec. Méx.* 27: 349-358, 2004.
- DE LA LOMA, J.L.: *Experimentación Agrícola*, 327pp., Tercera Edición. Editorial Pueblo y Educación, La Habana, Cuba, 2003.
- GABRIEL, M.: *Que los frutales tomen su lugar*, [en línea] diciembre 27 2004, Disponible en: <http://www.Ganma.cu/español> [Consulta: mayo 18 2013].
- González, G.E.; Padilla, R.; Reyes, M.L. *Guayaba; su Cultivo en México*. INIFAP. Campo Experimental Pabellón, 182pp., Libro Técnico No. 1. Pabellón, Ags., México, 2002.
- GHAFFAR, A.A., MUSTHAQ, S.A, RANA, A.A, KHALIL-UR-REHMANB: "Influence of citrus and guava branch architecture on foliage spider fauna", *International Journal of Agriculture and Biology*, 13 (3): 406-410, 2011.
- KUMAR, Y. & S. RATTANPAL: "Effect of pruning in guava planted at different spacing under Punjab conditions" *Indian Journal of Horticulture*, 67 (Spec. Issue): 115-119, 2010.
- RUEDA, A., SAAVEDRA, R., B. ENRIQUE: *Estudio de diversidad genética de guayaba*, [en línea] mayo 30 2009, Disponible en: www.proexant.org.ec/Manual%20de%20Guayaba.html [Consulta: mayo 18 2013].
- METWALLY, A.M., OMAR, A.A., GHAZY, N.M., HARRAZ, F.M., EL SOHAFY, S.M.: "Monograph of *Psidium guajava* L. leaves", *Pharmacognosy Journal*, 21 (3):89-104, 2011.
- LOPES SERRANO, L.A.: VALENTIM MARTINS, M.V.^A, MELO LIMA, I.D.^B, MARINHO, C.S.^C, TARDIN, F.D.^D: "Effect of pruning time and intensity on 'Paluma' guava trees, in pinheiros, es, Brazil" [Épocas e intensidades de poda de frutificação na goiabeira 'Paluma', em pinheiros-es], *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30 (4): 994-1000, 2008.
- LUYARATI, D.N., *Econometría*, 597pp., Ediciones ENPES, 2^{da} edición, La Habana, Cuba, 1997.
- LLANES, G. O., A. MARTÍNEZ, L. RODRÍGUEZ, A. MORALES: Determinación experimental de propiedades físico-mecánicas en ramas de árboles de naranja Valencia y toronja Marsh, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 12 (3): 53-58, 2003.

- SÁNCHEZ-URDANETA, A.B.A, PEÑA-VALDIVIA, C.B.B: “Morphological descriptor for genus *Psidium* characterization” [Artiitado: Descriptor morfolóla la caracterizació Psidium], *Revista de la Facultad de Agronomía*, 28 (3): 303-343, 2011.
- SERRANO, L.A., MARINHO, C.S.B, DE MELO LIMA, I.A, MARTINS, M.V.V.A, RONCHI, C.P.A, TARDIN, F.D. “Phenology of ‘Paluma’ guava trees under different cultivation systems, times and intensities of fruit pruning [Fenologia da goiabeira ‘Paluma’ sob diferentes sistemas de cultivos, épocas e intensidades de poda de frutificação], *Bragantia*, 67 (3): 701-712, 2008.
- SINGH, G., K. SINGH, D. MISHRA: “High density planting in guava”, *Acta Horticulturae*, 735: 235-241, 2007.
- SINGH, G., R. MISHRA, S. GUPTA: Modifying existing guava tree canopies for increased production efficiency. *Acta Horticulturae*, 735: 243-248, 2007
- SOTELA MOTERO, J.: *Determinación de propiedades físicas y mecánicas del bambú de la especie guadua de dos zonas de Costa Rica*, Ed. San José, Costa Rica, 1990.
- VALDÉS, H. P., D. GONZÁLES., A. MARTÍNEZ: Determinación experimental de propiedades físico–mecánicas de la caña de azúcar para su procesamiento en picadoras de forrajes., *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 17 (2): 1-6, 2008.

Recibido: 13 de noviembre de 2012.

Aprobado: 28 de enero de 2014.

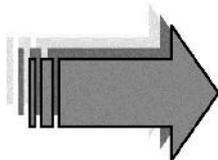
Ania Vilma Carballosa de la Paz, Profesora, Universidad de Granma, Facultad de Ciencias Técnicas, Carretera Bayamo-Manzanillo km 17 ½, Peralejo. C.P.; 85 100, Bayamo, Cuba, Correo electrónico: acarballosap@udg.co.cu



CENTRO DE MECANIZACIÓN AGROPECUARIA

LABORATORIO DE OLEOHIDRÁULICA

SERVICIOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS



- Descontaminación de aceites oleohidráulicos
- Fabricación de equipos portátiles de filtraje de aceites
- Recuperación (emboquillado) y fabricación de mangueras
- Diagnóstico y evaluación de circuitos oleohidráulicos y sus componentes
- Cursos y entrenamientos de posgrado

Solicitudes de ofertas a:

Dr. C. Roberto Albóniga Gil
Centro de Mecanización Agropecuaria
Autopista Nacional y Carretera de Tapaste. km 23, San José de las Lajas,
Mayabeque, Cuba. Apdo. 18-19
Tel.: (53)(47) 864346
E_mail: ralboniga@unah.edu.cu