

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA DE LA ESPECIE *KHAYA NYASICA* STAPF EN TRES EDADES DE PLANTACIÓN

STUDY OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD SPECIES IN THREE AGES *KHAYA NYASICA* STAPF PLANTING

DR. C. PEDRO P. HENRY-TORRIENTE,¹ TÈC. MARÍA V. GARCÍA-MANTILLA,¹ ING. MARÍA DEL C. BERRIOS-SMITH²
E ING. ARMANDOUR SOLANO-CABRERA³

¹ Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. Calle 174 no. 1723 e/ 17B y 17C, Siboney, Playa.
La Habana, calzadilla@forestales.co.cu

² Estación Experimental Agro-Forestal. Esteban Hernández 355, Martí, Matanzas, Cuba

³ Estación Experimental Agro-Forestal Placetes. Finca La Victoria, Oliver, Placetes, Villa Clara, Cuba

RESUMEN

*El estudio que se presenta aborda el comportamiento de las propiedades de la madera de *Khaya nyasica* Stapf en tres edades de plantación: diez, veinte y treinta años. Se determinaron la densidad, contracciones e higroscopicidad como propiedades físicas y flexión estática, dinámica, compresión paralela y perpendicular a las fibras como propiedades mecánicas.*

Los resultados registraron que para la edad de treinta años los valores de las propiedades físicas y mecánicas alcanzan su mejor comportamiento, lo que induce un aumento de la calidad de la madera con la edad. La densidad como muestra de la calidad tomó valores desde 0,577 g/cm³ a los diez años, y de 0,806 g/cm³ con treinta años. Igualmente la flexión estática tuvo un comportamiento similar al anterior, variando de 711 kgf/cm² hasta 915 kgf/cm².

*Palabras claves: *Khaya nyasica* Stapf, propiedades mecánicas, propiedades físicas, madera, plantación.*

ABSTRACT

*The study that is present deals the behaviour of wood property of *Khaya nyasica* in three plantations age 10, 20 and 30 years. In this work is determined the density, contractions and hygroscopicity like physical property and static, dynamic bend, parallel and perpendicular compression to fibres like mechanical property*

The results show that in 30 years the values of the mechanical and physical property reach the best behaviour, which shows the quality of the wood increase with age. The density like quality indicator had values from 0,577 g/cm³ in 10 years and 0,806 g/cm³ with 30 years. The static bend had behaviour like the density with 711 kgf/cm² in ten years and 915 kgf/cm² with thirty.

*Keys words: *Khaya nyasica* Stapf, mechanical property, physical property, wood, plantation.*

INTRODUCCIÓN

La madera procedente del bosque ha sido utilizada por el hombre desde la antigüedad. Con el avance del tiempo y de acuerdo con los conocimientos que se fueron adquiriendo, se identificaron especies para usos específicos. Estos resultados permitieron que algunas especies con una gran versatilidad de usos, crecimiento rápido, en altura y diámetro,

adaptación a diferentes condiciones de sitios hayan sido utilizadas en planes de reforestación, que tiene entre sus principales finalidades la producción de madera con destino industrial; sin embargo, según Ladrach (1986), la calidad de la madera es igual, sino de mayor importancia que la cantidad de madera que se produce.

En Cuba se introdujo desde hace más de cincuenta años algunas especies del *Khayas*, procedentes de África tropical [Fors,1957]. Continúa apuntado el autor que estas se han adaptado a diferentes tipos de suelos como los rojos de La Habana y los áridos de Santa Clara, en muchos casos con alto rendimiento en poco tiempo. En algunas zonas del país constituyen plantaciones con ambiciosos planes de reforestación, como es el caso de la Empresa Forestal Integral Ciénaga de Zapata, donde la especie ya ha comenzado a formar parte del grueso de la producción industrial.

Independientemente del buen comportamiento que muestran las variables dasométricas en un tiempo corto, y que los resultados de sus propiedades físicas, mecánicas indican que la madera está apta para trabajar, su transformación tecnológica en carpinterías trae consigo defectos considerables como curvaturas de caras y cantos, entre otros. El objetivo de este trabajo es estudiar las propiedades físicas y mecánicas de la especie *Khaya nyasica* Stapf en tres edades de plantación, y con los resultados evaluar el comportamiento de la calidad de la madera.

MATERIALES Y MÉTODOS

La madera para la realización de este estudio procede de plantaciones de la Ciénaga de Zapata de las edades de diez y veinte años, y de la Estación Experimental Forestal de Placeta, Villa Clara, la de treinta años.

Para cada una de las edades se seleccionaron cinco árboles al azar, buscando en todo momento la representatividad del área. A partir de la muestra obtenida, y considerando las normas utilizadas para los diferentes ensayos, se elaboraron probetas para realizar los estudios físicos y mecánicos.

Para la realización de los ensayos físicos en ambos casos se sumergieron las probetas en agua hasta lograr el peso constante. A partir de este momento se determinaron todas las propiedades.

Para la determinación de la densidad se utilizaron probetas de 3 x 3 x 10 cm en corres-

pondencia con la norma NC-43-37-87 Determinación de la Densidad. Método de Ensayo. Fueron utilizadas un total de 10 para cada una de las edades. Los valores responden a la densidad verde, normal, seca al horno y básica. Las mediciones se realizaron con un micrómetro, y los pesos se determinaron con una balanza digital Sartorius Multiplato de 0,1 g de precisión. El volumen se determinó por el método estereométrico. Estas probetas sirvieron también para la determinación de la contracción volumétrica total, según lo establecido por la norma DIN 52 184. En la determinación de las contracciones transversales tangenciales y radiales se utilizaron 15 probetas por edades con dimensiones de 3 x 3 x 1,5 cm.

Los ensayos para las pruebas mecánicas se realizaron en la prensa universal Avery de 40 t. En caso de la flexión estática se utilizó una prensa de 1 t, y para la tenacidad se empleó un péndulo de 100 Joule, ambos equipos del laboratorio instalados en el INAF.

Los ensayos de dureza se realizaron por la metodología establecida en la norma NC-43-31-87 Determinación de la Dureza Estática. Janka. Método de Ensayo. En esta prueba se utilizaron 30 probetas, 10 para cada una de las edades.

Los ensayos de compresión paralela a las fibras se realizaron según la norma ISO 3787 con probetas de 2 x 2 cm de sección transversal y 5 cm de longitud. Se utilizaron 10 probetas para la edad de diez años, 10 para veinte y 13 para treinta. Para la compresión perpendicular a las fibras se utilizó la norma ISO 3132 con dimensiones similares en la sección transversal y longitud que las anteriores, utilizándose 10 probetas para cada una de las edades.

En el ensayo flexión estática se determinó el módulo de ruptura con probetas de 2 x 2 x 30 cm, de acuerdo con la norma ISO 3133, y se ensayaron 12 probetas por edades. Para la flexión dinámica o tenacidad se siguieron los requisitos definidos por la norma NFB 51-009, que utiliza probetas de las mismas dimensiones. En total se ensayaron 15 probetas por cada edad. En todos los casos los resultados de cada una de las pruebas mecánicas fue-

ron referidos a los 12 % de humedad a partir de los coeficientes utilizados al respecto.

Con un diseño completamente aleatorizado y utilizando el sistema estadístico InfoStat Plus 5 se realizó un análisis de varianza para determinar diferencias estadísticamente significativas entre las propiedades en cada una de las edades.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de humedad alcanzados con las probetas saturadas fueron del 64 % aproxi-

madamente para ambas edades, inferiores a las obtenidas con probetas en estado verde, donde fueron superiores al 73 %. Igualmente las densidades en verdes determinadas con la madera en iguales condiciones fueron muy superiores a los de las saturadas.

Los valores promedio, desviación estándar, coeficiente de variación, así como los máximos y mínimos para cada una de las propiedades físicas y mecánicas evaluadas para las edades de diez, veinte y treinta años, se presentan en las *Tablas 1, 2, 3, 4, 5 y 6.*

TABLA 1
Resultados de las propiedades físicas para diez años

	Dens. verde (g/cm ³)	Dens. SH (g/cm ³)	Dens. básica (g/cm ³)	Dens. 12 % (g/cm ³)	Contr. rad. (%)	Contr. tang. (%)	CVT (%)	Relación T/R	Ani. Abs.
Mín.	0,723	0,482	0,434	0,537	2,92	5,704	8,616	1,113	0,647
Máx.	0,834	0,572	0,518	0,643	5,29	8,88	12,800	2,818	5,734
Desv.	0,039	0,032	0,028	0,036	0,943	0,844	1,082	0,414	1,266
Prom.	0,774	0,486	0,471	0,577	4,32	7,142	11,448	1,719	2,836
CV	5,064	6,557	5,932	6,163	21,825	11,813	9,449	24,110	44,628

TABLA 2
Resultados de las propiedades mecánicas para diez años

Diez años	CNF (kgf/cm ²)	CPF (kgf/cm ²)	Flexión (kgf/cm ²)	Tenacidad (kgfm/cm ²)	Dureza (kgf/cm ²)
Mín	125,000	328,000	557,000	0,260	235,068
Máx	210,000	434,000	1050,000	0,620	383,325
Desv.	24,600	29,806	139,525	0,102	49,830
Prom.	159,083	374,333	711,000	0,461	281,625
CV	15,464	7,963	19,624	22,167	17,694

TABLA 3
Resultados de las propiedades físicas para veinte años

	Dens. verde (g/cm ³)	Dens. SH (g/cm ³)	Dens. básica (g/cm ³)	Dens 12 % (g/cm ³)	Contr. rad. (%)	Contr. tang. (%)	CVT (%)	Relación T/R	Ani. Abs.
Mín	0,784	0,552	0,502	0,616	1,052	5,578	7,722	1,010	0,057
Máx.	0,938	0,631	0,559	0,699	5,842	10,146	13,377	6,342	6,915
Desv.	0,059	0,023	0,017	0,025	1,383	1,132	1,345	1,324	1,844
Prom.	0,877	0,595	0,532	0,668	3,833	6,613	10,660	1,941	2,565
CV	6,683	3,793	3,227	3,700	36,093	17,124	12,616	68,221	71,882

TABLA 4
Resultados de las propiedades mecánicas para veinte años

<i>Veinte años</i>	<i>CNF (kgf/cm²)</i>	<i>CPF (kgf/cm²)</i>	<i>Flexión (kgf/cm²)</i>	<i>Tenacidad (kgf/cm²)</i>	<i>Dureza (kgf/cm²)</i>
Mín.	132,000	348,000	486,000	0,550	502,003
Máx.	200,000	456,000	899,000	0,800	559,405
Desv.	21,129	31,184	124,294	0,094	19,783
Prom.	173,583	387,333	754,000	0,631	492,515
CV	12,172	8,051	16,485	14,905	4,017

TABLA 5
Resultados de las propiedades físicas para treinta años

<i>Treinta años</i>	<i>Dens. verde (g/cm³)</i>	<i>Dens. SH (g/cm³)</i>	<i>Dens. básica (g/cm³)</i>	<i>Dens 12 %</i>	<i>Contr. rad. (%)</i>	<i>Contr. tang. (%)</i>	<i>CVT (%)</i>	<i>Relación T/R</i>	<i>Ani. Abs.</i>
Mín	0,902	0,704	0,641	0,783	2,440	3,931	6,371	1,102	0,465
Máx	0,999	0,758	0,704	0,862	4,575	5,905	9,616	1,842	2,511
Desv.	0,030	0,015	0,015	0,015	0,557	0,561	0,913	0,218	0,626
Media	0,946	0,721	0,663	0,806	3,401	5,130	8,686	1,461	1,574
CV	3,167	2,080	2,261	1,861	16,363	10,927	10,517	14,901	39,755

TABLA 6
Resultados de las propiedades mecánicas para treinta años

<i>Treinta años</i>	<i>CNF (kgf/cm²)</i>	<i>CPF (kgf/cm²)</i>	<i>Flexión (kgf/cm²)</i>	<i>Tenacidad (kgfm/cm²)</i>	<i>Dureza (kgf/cm²)</i>
Mín.	208,000	522,000	716,000	0,400	594,380
Máx.	291,000	647,000	1105,000	0,810	701,389
Desv.	26,693	35,769	92,580	0,115	30,229
Prom.	242,167	581,923	915,333	0,630	592,216
CV	11,023	6,147	10,114	18,208	5,104

Los resultados del análisis de varianza para un nivel de significación de un 5 % se pueden observar en la *Tabla 7*. Estos indican que para las densidades tanto verde, al 12 %, seca al horno y básica existen diferencias estadísticamente significativas para cada una de las edades, incrementado en la medida en que esta aumenta. La densidad básica importante para transformar el volumen verde a masa seca se comportó para diez años con 0,471 g/cm³; 0,532 g/cm³ para

veinte años y 0,663 g/cm³. Estos valores se comportaron en el rango de los obtenidos por Ibáñez y col. (2002) para la misma especie con valor de 0,516 g/cm³, sin tener en cuenta la edad. Para las cuatro densidades, independientemente de la edad, la madera de la especie se considera de semipesada a pesada de acuerdo con la norma UNE 56-540-78 Características Físico-Mecánicas de la Madera. Interpretación de Resultados de Ensayos.

TABLA 7
Comparaciones de las densidades para un 95 %
de probabilidad

Edad (años)	Densidad verde (g/cm ³)	Densidad SH (g/cm ³)	Densidad básica (g/cm ³)	Densidad normal (g/cm ³)
10	a	a	a	a
20	b	b	b	B
30	c	c	c	c

En cuanto al análisis de varianza en las contracciones para un nivel de confiabilidad de un 95 %, se demostró que en la relación T/R no existen diferencias estadísticamente significativas para las edades, comportándose en todos los casos con valores favorables que no superan los 1,80 (Tabla 8); sin embargo, existen diferencias para las contracciones tangenciales, radiales y la volumétrica total, principalmente entre las edades de diez y treinta años. En todas las edades las contracciones transversales estuvieron entre medianas y bajas, ligeramente superior a los valores obtenidos por Ibáñez y col. (2002), y análogos a los obtenidos por Omar (1979) para la especie *Khaya sene-*

galensis. La contracción volumétrica total llegó solamente a media, con valores similares los señalados por Ibáñez y col. (2002). En la Tabla 9 se presentan los resultados de la clasificación para las propiedades físicas.

TABLA 8
Comparaciones de las contracciones
para un 95% de confiabilidad

Edad (años)	Radial (%)	Tangencial (%)	CVT (%)	Relación T/R
10	a	a	a	a
20	ab	a	a	a
30	b	b	b	a

TABLA 9
Clasificación de las propiedades físicas

Edad (años)	Dens. 12 % (g/cm ³)	Dens. básica (g/cm ³)	Contr. rad. (%)	Contr. tang. (%)	CVT (%)	Relación T/R	Ani. Abs.	Higrosc.	PSF (%)
10	S. pesada	Ligera	Baja	Media	Media	Favorable	Baja	Normal	Bajo
20	S. pesada	S. pesada	Pequeña	Pequeña	Media	Favorable	M baja	Normal	Bajo
30	Pesada	S. pesada	Pequeña	Pequeña	Pequeña	Favorable	baja	Normal	Bajo

Con relación a las propiedades mecánicas estudiadas, el procesamiento de los análisis de varianzas obtenidos para un nivel de probabilidad del 95 % revelan que en general existen diferencias estadísticamente significativas entre las edades. En cuanto a las

comparaciones, la compresión paralela, perpendicular y la flexión estática no mostraron diferencia alguna entre los diez y los veinte años; sin embargo, sí hubo para los treinta. Para la tenacidad y dureza existieron diferencias entre todas las edades (Tabla 10).

TABLA 10
Comparaciones de las propiedades mecánicas para un 95%
de confiabilidad

Edad (años)	CPF (kgf/cm ²)	CNF (kgf/cm ²)	Flexión estática (kgf/cm ²)	Tenacidad (kgfm/cm ²)	Dureza (kgf/cm ²)
10	a	a	a	a	a
20	a	a	a	b	b
30	b	b	b	b	c

Las propiedades mecánicas tuvieron una tendencia muy parecida al comportamiento de la densidad, lo que resalta la importancia que muchos autores le refieren a esta propiedad, al considerar su alta relación con la resistencia mecánica. En todos los casos las propiedades tuvieron mayores

valores con la edad de treinta años. La dureza, considerada una propiedad mecánica y física, mostró la misma tendencia que la densidad. La clasificación de las propiedades mecánicas evaluadas para una condición del 12 % de humedad se presenta en la *Tabla 11*.

TABLA 11
Clasificación de las propiedades mecánicas

<i>Edad (años)</i>	<i>CPF (kgf/cm²)</i>	<i>CNF (kgf/cm²)</i>	<i>Flexión estática (kgf/cm²)</i>	<i>Tenacidad (kgfm/cm²)</i>	<i>Dureza (kgf/cm²)</i>
10	Media	Baja	Baja	Med. resistente	Baja
20	Media	Baja	Baja	Med. resistente	Media
30	Alta	Baja	Baja	Med. resistente	Media

Los usos que se consideran a partir de sus propiedades y clasificación son muebles, ebanistería, tornería, carpintería exterior, marcos, puertas y ventanas, instrumentos agrícolas, muebles para niños. Se recomienda utilizar la madera de edad de treinta años, ya que presenta mayor densidad y por consiguiente una mayor madurez. Ibáñez (2000) y (2002) señala que esta especie puede sustituir al cedro en sus usos; sin embargo, aunque tecnológicamente es impecable, la elaboración de piezas largas puede traer curvaturas que categorizan a la madera poco comercial.

CONCLUSIONES

- Las densidades de la especie se comportaron con un valor ascendente desde diez a treinta años.
- Los valores de las contracciones en general se comportaron favorables, llegando la relación T/R a 1,80.
- Las propiedades mecánicas tuvieron una tendencia semejante al comportamiento de la densidad. En todos los casos aumentaron desde diez hasta la edad de treinta años.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1955. *Paint, Naval store, Cellolose, Wax, Polish, Wood, Acoustical Materials, Sandwich and Building Contrucction, Fire tests. Part 4.* Philadelphia, 183 pp.

FORS, J. 1965. *Maderas cubanas*, La Habana, Editorial INRA, 182 pp.

IBÁÑEZ, A. 2002. «Propiedades y usos de 50 especies maderables que crecen en Cuba» (propuesta a Premio Academia 2001).

IBÁÑEZ, A., MANZANARES, K., SOSA, M. 1978. «Compendio de 56 especies maderables cubanas, africanas y de otras regiones tropicales», La Habana. Instituto de Investigaciones Forestales, 180 pp.

NC 43-27: 87 Propiedades físico mecánicas. Toma de muestras. Vigente abril 1987.

NC-43-34-87: Determinación de la humedad en ensayos físicos-mecánicos. Vigente noviembre 1987.

NC-43-31-87: Determinación de la dureza estática. Janka. Método de ensayo. Vigente noviembre 1987.

KOLLMAN, F. 1959. *Tecnología y aplicaciones de la madera*, Instituto de Investigaciones y Experiencias en Servicio de la Madera, Gráficas Reunidas, Madrid, t. 1., 673 pp.

OMAR DIALLO, T. 1979. «Ensayos exploratorios para el estudio de las propiedades de la *Khaya senegalensis* en Cuba», trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Forestal, Centro Universitario de Pinar del Río.

SALLENAVE, P. 1954. *Propietes physiques et mecaniques des bois tropicaux de L'Unio Francaise*, Centre Technique Forestier Tropical, Nugent-Sur-Marne, Francia, 123 pp.

SOTOMAYOR, J. R. 2002. «Tabla Fitecma de clasificación de características mecánicas de maderas mexicanas», Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

UNE 56-531-77. Características físico-mecánicas de la madera: Determinación del peso específico. Vigente enero 1977.

UNE 56-533-77. Características físico-mecánicas de la madera: Determinación de las contracciones lineal y volumétrica. Vigente febrero 1977.

UNE 56-535-77. Características físico-mecánicas de la madera: Determinación de la resistencia a la compresión axial. Vigente julio 1977.

UNE 56-536-77. Características físico mecánicas de la madera. Determinación de la resistencia a la flexión de dinámica. Vig. Julio 1977.

UNE 56-540-78 (1978) Características físico-mecánicas de la madera: Interpretación de los resultados de los ensayos. Vigente abril 1978.

UNE 56-537-79. Características físico-mecánicas de la madera: Determinación de la resistencia a la flexión estática. Vigente diciembre 1979.

RESEÑA CURRICULAR

Autor principal: Pedro Pablo Henry Torriente

Doctor en Ciencias Ecológicas, investigador auxiliar del Instituto de Investigaciones Agro-Forestales y profesor adjunto del Instituto Superior de Arte y de la Universidad Hermanos Saíz, ha desarrollado diferentes investigaciones relacionadas con la tecnología de la madera y la mensura forestal. Ha participado en eventos nacionales e internacionales y es miembro del Tribunal Nacional Forestal para el otorgamiento de grados científicos.