

Revista Cubana de Ciencias Forestales

Volumen 13, número 2; 2025, mayo-agosto



Artículo original

Análisis de propiedades físicas y mecánicas de la madera de Quercus sagraeana Nutt. procedentes de Viñales

*Analysis of physical and mechanical properties of Cuban Quercus wood a. rich from
Viñales*

*Análise das propriedades físicas e mecânicas da madeira de nogueira-da-Índia Quercus
sagraeana. de Viñales*

Damián Guerra Castellón^{1*}  , Alberto Peñalver Romeo²  , Daniel Álvarez Lazo²  ,
Ignacio Estévez Valdés³  , Hirvin Gorospe Zetina⁴ 

¹Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca. Pinar del Río, Cuba.

²Universidad católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil. Ecuador.

³Universidad Estatal del Sur de Manabí. Ecuador

⁴Instituto Tecnológico Superior de Jesús Carranza.

*Autor para la correspondencia: dgcastellon@upr.edu.cu

Recibido:16/01/2024.

Aprobado: 01/04/2025

Publicado:15/04/2025



RESUMEN

La diversificación del uso de la madera ha ganado importancia en el escenario mundial por el hecho de sustituir los productos oriundos de fuentes de recursos no renovables, fortaleciendo el multiuso de esta matriz renovable. Por lo que el objetivo del presente trabajo está relacionado con determinar de la variación radial de propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Quercus sagraeana*, procedente de áreas de la Unidad de Ciencia y Tecnología Viñales, en la provincia de Pinar del Río, Cuba. Se utilizan 10 árboles de 54 años de edad y las propiedades físico-mecánicas de la madera se determinan a partir de trozas obtenidas a 1.30 m de altura de cada árbol, al emplear las normas NC-43-37-87; ISO 13061-2; ISO 3787; ISO 3132 e ISO3133. Las mediciones se realizaron en tres posiciones radiales diferentes en dirección médula corteza. Los resultados obtenidos permiten concluir que se aprecia un fuerte efecto del parámetro distancia de la médula a la corteza en todas las características de la madera estudiadas, por lo tanto, la variación radial de las características de la madera indica que *Q. sagraeana* tiende a desarrollar una importante relación positiva, entre las propiedades de resistencia de la madera y su densidad. Aplicar en los esquemas de aserrado de trozas de *Q. sagraeana* las dimensiones de corte de apertura para obtener los mayores volúmenes de madera de calidad. Al tener en consideración la variación de las propiedades estudiadas en la dirección radial de las trozas.

Palabras clave: evaluación, densidad, contracción, compresión, flexión

SUMMARY

The diversification of the use of wood is gaining importance on the world stage due to the fact that it replaces products from non-renewable resource sources, strengthening the multi-use of this renewable matrix. Therefore, the objective of this work is related to determining the radial variation of physical and mechanical properties of the *Cuban Quercus* A. Rich wood, from areas of the Viñales Science and Technology Unit, in the province of Pinar del Río., Cuba. 10 54-year-old trees are used and the physical-mechanical properties of the wood are determined from logs obtained at 1.30 m height from each tree, using the standards NC-43-37-87; ISO 13061-2; ISO 3787; ISO 3132 and



ISO3133. Measurements were made in three different radial positions in the medullary cortex direction. The results obtained allow us to conclude that there is a strong effect of the parameter distance from the pith to the bark on all the characteristics of the wood studied, therefore, the radial variation of the characteristics of the wood indicates that the wood of *Quercus cubana* A. Rich tends to develop a significant positive relationship between the strength properties of wood and its density. Apply the opening cut dimensions to the *Quercus cubana* A. Rich log sawing schemes to obtain the largest volumes of quality wood, taking into consideration the variation of the properties studied in the radial direction of the logs.

Keywords: evaluation, density, contraction, compression, flexion.

RESUMO

A diversificação do uso da madeira tem ganhado importância globalmente ao substituir produtos de fontes não renováveis, reforçando a polivalência desse recurso renovável. Portanto, o objetivo deste trabalho está relacionado à determinação da variação radial das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Quercus sagraeana*, proveniente de áreas da Unidade de Ciência e Tecnologia de Viñales, na província de Pinar del Río, Cuba. São utilizadas dez árvores com 54 anos de idade e as propriedades físico-mecânicas da madeira são determinadas a partir de toras obtidas a 1,30 m de altura de cada árvore, utilizando as normas NC-43-37-87; ISO 13061-2; ISO 3787; ISO 3132 e ISO3133. As medições foram feitas em três posições radiais diferentes na direção da medula e do córtex. Os resultados obtidos permitem concluir que se observa um forte efeito do parâmetro distância da medula à casca em todas as características da madeira estudada, portanto, a variação radial das características da madeira indica que *Q. sagraeana* tende a desenvolver uma importante relação positiva entre as propriedades de resistência da madeira e sua densidade. Aplique as dimensões de corte de abertura aos esquemas de serragem para toras de *Q. sagraeana* para obter os maiores volumes de madeira de qualidade. Levando em consideração a variação das propriedades estudadas na direção radial dos troncos.



Palavras-chave: avaliação, densidade, contração, compressão, flexão

INTRODUCCIÓN

La demanda de materia prima continúa en aumento y la oferta de madera aún más limitada, al jugar un rol fundamental la diversificación de especies de rápido crecimiento que, además de adaptarse a las condiciones edafoclimáticas, son de alta productividad y tienen madera de buena calidad.

La tendencia mundial a utilizar productos o subproductos forestales, especialmente los de bosques naturales, ha impulsado la introducción de especies con alto potencial productivo, de ahí la necesidad de adaptar la industria forestal para satisfacer esta creciente demanda.

Se debe considerar también, la gran variabilidad entre las especies forestales, así como sus diferentes propiedades, entre ellas, las que indican posibilidades de uso de la madera para los más diversos propósitos, entre ellos, la elaboración de muebles y los niveles de satisfacción de los clientes a partir del bienestar psicológico que proporciona la madera (Lipovac & Burnard, 2020).

En la industria de transformación primaria y secundaria de la madera se pone de manifiesto la reducción de costos de mantenimiento y producción, aparejado a ello, se optimiza la producción y se maximizan los ingresos. El constante cambio de las técnicas de aserrado, así como las características mecánicas de las especies forestales influyen en la calidad del producto obtenido en la transformación primaria de la madera. La variación de las características físico-mecánicas de la madera y los parámetros de corte, enfocados en la calidad de la madera, presentan proporcionalidad (Torkghashghaei *et al.*, 2023).

En Cuba, aunque existen importantes avances tecnológicos en el sector de la utilización de la madera como materia prima, aún se necesita mejorar el nivel de conocimiento en el área de las propiedades de la madera para incrementar los niveles de eficiencia de los procesos de transformación mecánica y su utilización (Álvarez *et al.* 2020; Guera *et al.*



2021; Valdés *et al.* 2022). Por lo que el objetivo del presente trabajo fue determinar la variación radial de propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Quercus sagraean*

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones de trabajo

La investigación se inicia a partir de la selección de los individuos, utilizando la especie *Quercus sagraeana* por sus complejidades la introducción de esta en la industria de transformación secundaria de la madera no ha sido la más efectiva. La selección de los individuos se realizó en áreas de la Unidad de Ciencia y Tecnología de Base Viñales, perteneciente al Instituto de Investigaciones Agro-Forestales (Figura 1).

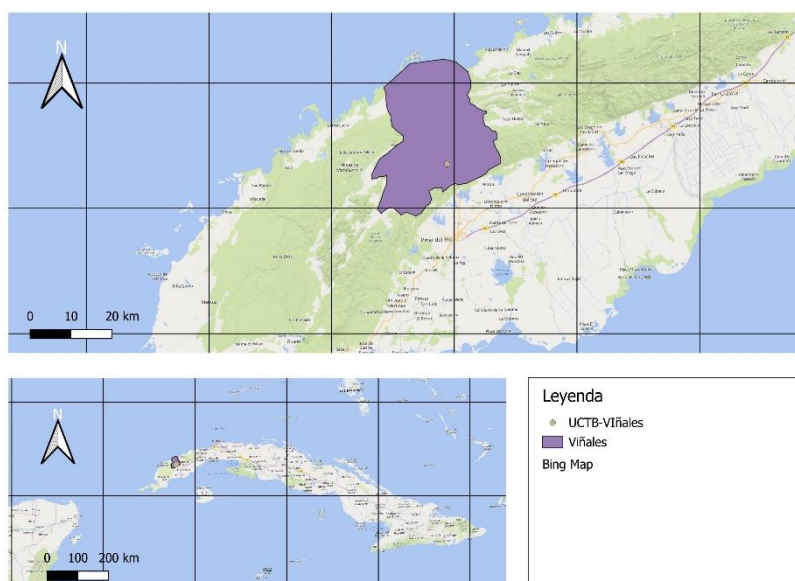


Figura 1. - Localización del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, QGIS 3.34

Situado en la parte central del norte de la provincia de Pinar del Río; limita al norte con el estrecho de Bahamas, al sur con los municipios de Pinar del Río y Consolación del Sur, al este con el municipio La Palma, y por el oeste con el municipio de Minas de Matahambre. En la región desde último cuarto del siglo XVIII fue muy desbastada la vegetación, siempre en pos del desarrollo económico y social, siendo más fuerte esta



deforestación en los valles y en la llanura norte, menor en las sierras calcáreas y los mogotes (Guerra *et al.*, 2019).

Preparación de las muestras

Determinación del número de muestras utilizadas en la investigación

Se emplea el muestreo aleatorio simple a partir de la utilización de diez árboles, teniendo como viable de interés el diámetro a 1.30 m de altura; según la metodología propuesta por Álvarez *et al.* (2020) y Pupo *et al.* (2023); que utilizan las siguientes ecuaciones 1 y 2:

$$n = \frac{t^2 s_x^2}{E^2} \quad (1)$$

$$E = (LE * \bar{X}) \quad (2)$$

Donde:

n = número de muestras;

t^2 = Estadígrafo *t de student* al cuadrado;

LE = límite del error de muestreo admitido.

Del cual resultó una muestra de diez árboles, los cuales han sido seleccionados de manera completamente al azar, al evitar los efectos de borde y árboles menores de 20 cm de diámetro. A la altura de 1,30 m se extrajeron dos trozas de 50 cm de longitud, las cuales fueron enumeradas, se extraen 20 probetas de cada troza. La determinación de las propiedades físicas y mecánicas por muestra en cada troza se realiza desde la médula a la corteza; coincidiendo con Álvarez *et al.*, (2020) Figura 2.

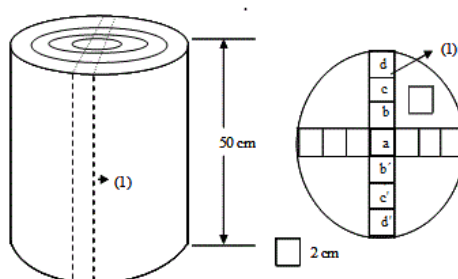


Figura 2. - Preparación de las muestras



Determinación de propiedades físico-mecánicas de la madera de Q. cubana

En el Laboratorio de Resistencia de los Materiales en Pinar del Río, perteneciente al Ministerio de la Construcción, se ubican las probetas obtenidas en un ambiente climatizado con temperatura de 20 °C y humedad relativa del 65 % (ASTM-D13, 2009), hasta obtener una humedad de equilibrio aproximadamente del 12 %; se tuvo en consideración la metodología propuesta por Virgen *et al.* (2022) y Aramburu *et al.* (2023).

En la Tabla 1, se exponen aspectos relacionados con las dimensiones de las probetas utilizadas, para la determinación de propiedades físico-mecánicas de la madera en dependencia de las diferentes normas utilizadas.

Tabla. Información general de las pruebas mecánicas analizadas

Propiedades de la madera	Norma utilizada	Dimensiones de las probetas (mm)	Número de probetas utilizadas
Contracción de la madera (volumétrica, β_v ; tangencial, β_t ; radial β_r y axial β_a).	ISO 3133 (E)-75	20x20x20	100
Densidad Verde (DENS _v).	ISO 3133 (E)-75	20X20X25	100
Compresión paralela a las fibras (MORCpl).	ISO 3787	20x20x50	100
Compresión perpendicular a las fibras. (MORC _{pp})	ISO 3737	20x20x50	100
Flexión Estática (FE).	ISO 3133-75	20x20x340	100

Para la determinación de las magnitudes de las propiedades físicas y mecánicas estudiadas se utilizan las siguientes expresiones matemáticas según la metodología desarrollada por Marini *et al.* (2020); Knapic *et al.* (2022); Virgen *et al.* (2022) y Costa *et al.* (2023) Ecuación 3:

Contracción volumétrica total

$$\beta_v = \frac{V_s - V_0}{V_s} * 100 \quad (3)$$



Donde:

B- contracción volumétrica total;

%; V_s - volumen saturado, cm^3 ;

V_o - volumen en estado anhidro, cm^3

Contracción tangencial (β_t), Contracción radial (β_r) y Contracción axial (β_a)

Según Ibáñez y Gherscovic (2021), las expresiones que definen la Contracción tangencial, Contracción radial y Contracción longitudinal, se definen de la siguiente manera ecuaciones 4; 5; 6; 7 y 8:

$$\beta_{(t,r,l)} = \left[\frac{d_s - d_o}{d_s} \right] \times 100 \quad (4)$$

Anisotropía (CA)

$$CA = \frac{\beta_t}{\beta_r} \quad (5)$$

Densidad Verde ($DENS_v$)

$$DENS_v = \frac{P_v}{V_v} \quad (6)$$

Donde:

$DENS_{12}$ - Densidad verde, $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$;

P_v - peso de la madera verde,

g; V_{12} - Volumen de la madera verde, cm^3 .

Compresión paralela-perpendicular a las fibras (MORC)

$$MORC = \frac{F_{\max}}{a \cdot b} \quad (7)$$

Donde:

$F_{\max}$ - Fuerza aplicada a las probetas al límite de proporcionalidad,

kgf; a- ancho de las probetas, cm;

b- grosor de las probetas, cm.



Resistencia a la Flexión Estática (FE)

Teniendo en consideración los resultados expuestos por Carmona *et al.* (2020), la resistencia a la Flexión estática se determina a partir de la siguiente expresión matemática:

$$FE = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot a \cdot b^2} \quad (8)$$

Donde: P- Carga máxima de rotura, kgf; L- distancia entre soportes, cm; a- ancho de la probeta, b- grosor de la probeta, cm.

Análisis estadísticos

Las diferencias estadísticas en las propiedades de la madera se determinan a partir del análisis de varianza (ANOVA), con un nivel de significación $p < 0,05$; coincide con las metodologías propuestas por Modes *et al.* (2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 2 muestra los valores medios obtenidos relacionados con las propiedades físicas estudiadas de la madera de *Quercus sagraeana* donde se presentan resultados superiores a los obtenidos por Nazari *et al.* (2020), para *Quercus brantii* Lindl. La media de la contracción tangencial es de 9,4 %, contracción radial 6,40 %, y longitudinal 4,55 %, con lo que se puede interpretar que la especie no sufre fuertes deformaciones, a partir de la pérdida de humedad.

Tabla 2. - Estadísticos descriptivos de las propiedades físicas.

Propiedades	Número de probetas	Media	Desviación estandar
Densidad Verde (DENS _v), g*cm ⁻¹ .	100	1.21	0.039
Contracción volumétrica total (β _v), %.	100	9,58	1.401
Contracción tangencial, %.	100	9,40	2,70819
Contracción radial, %.	100	6,40	1,38569
Contracción axial; %.	100	4,55	0,4572
Anisotropia.	100	1,47	0,12354



Es notable (Tabla 2) que la densidad verde de la madera de *Quercus sagraeana* es de 1,21 g/cm³, superior a los resultados obtenidos por Nazari *et al.* (2020), al exponer estos autores valores de 0,78 g/cm³. Valores de densidad que se consideran altos de acuerdo con la clasificación propuesta por el colectivo de autores antes mencionado, para los cuales la especie se clasifica como muy pesada.

Honorato y Fuentes (2021), obtienen valores de densidad de 0,72 g/cm³ en la madera de encinos blancos en el estado de Guanajuato, México; de igual forma analizan los valores de contracción volumétrica, donde concluyen que la especie clasifica como madera poco nerviosa. El valor medio obtenido en cuanto a la contracción, en esta investigación, muestra que la especie *Quercus sagraeana* presenta baja contracción, al coincidir con los resultados obtenidos por Nazari *et al.* (2020).

Análisis de la variación de las propiedades físicas de la madera de Quercus sagraeana en la dirección radial

El análisis de varianza realizado permite la comparación de medias de las tres contracciones estudiadas mediante la prueba de Duncan, se observa que existen diferencias estadísticamente significativas entre las magnitudes de la contracción para los ejes que se manifiestan en la madera, como material ortotrópico; se coincide con los resultados obtenidos por Erdene-Ochir *et al.* (2021).

Cabe considerar por otra parte, la variación que se pone de manifiesto en la sección transversal de la madera, tal comportamiento de las propiedades físicas medidas, refleja las diferencias de elementos anatómicos que forman la madera tardía y la madera temprana, así como la aparición de madera juvenil y madera adulta, al concordar con los resultados propuestos por Winck *et al.* (2022). La Tabla 3 muestra el comportamiento de las propiedades físicas de la madera estudiada en la dirección médula-corteza.



Tabla 3. - Análisis de comparación de medias de las propiedades físicas de la madera de *Quercus sagraeana* en la dirección médula-corteza. Prueba Duncan.

Propiedad	Posición de las muestras en la dirección médula corteza			
	A	B	C	D
Contracción volumétrica, %.	10,32a	9,96b	8,51d	9,53c
Contracción Tangencial, %.	10,42a	9,94b	8,01d	9,25c
Contracción Radial, %.	7,34a	7,30a	4,81c	6,15b
Anisotropía.	1,42b	1,36b	1,67a	1,50a
Densidad verde, g*cm ⁻¹ .	1,68a	1,35b	0,70d	1,11c

Resultados con letras diferentes expresan que existe diferencia significativa para $p < 0,05$

Evidentemente la contracción hacia los tres ejes fundamentales de la madera varía en función de la anisotropía que esta presenta, en este sentido, la contracción axial y radial presentan diferencias significativas, no así para la contracción longitudinal, esta tendencia se corresponde con resultados obtenidos Nazari *et al.* (2020).

Este aumento creciente de las contracciones en la dirección médula corteza, se relaciona con el propio incremento de la densidad verde en la misma dirección; se coincide con Nazari *et al.* (2020), al establecer que la magnitud de la variación dimensional es proporcional a la cantidad de madera por volumen analizado.

El coeficiente de anisotropía de *Q. sagraeana* según la Tabla 3 es 1,45; lo cual tiene un significativo valor debido a que en la medida que sea mayor la relación de anisotropía, mayor será la tendencia del surgimiento y desarrollo de rajaduras en la madera, así como deformaciones a partir de las variaciones de contenido de humedad como consecuencia de la desorción.

Se concuerda con Álvarez *et al.* (2020); se muestra que la densidad es uno de los factores de mayor influencia sobre la calidad de la madera. Muchas de sus propiedades como lo es la dureza, las propiedades mecánicas, contracción y resistencia a la biodegradación, están fuertemente afectadas por la densidad (Herrera *et al.*, 2017). Por lo que la variación radial de las propiedades físicas de la madera de *Q. sagraeana*, evidenciadas en la Tabla 2, están en correspondencia con el crecimiento desde la médula a la corteza de la densidad; lo que corrobora los resultados obtenidos Liola *et al.* (2021) y Winck *et al.*



(2022), los cuales plantean una mayor presencia de madera adulta a medida que la sección se aleja de la médula.

Análisis de las propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas permiten conocer qué tan potente puede ser una especie maderable y el valor a alcanzar por la misma; siendo su comportamiento en la dirección radial un aspecto determinante para el procesamiento mecánico de la madera, como también lograr elevar el valor agregado de la misma como materia prima; coincidiendo en estos aspectos con los trabajos desarrollados por Vega *et al.* (2020).

Dentro de estas se analizaron las respuestas a la compresión paralela, perpendicular a la fibra y la flexión estática en la dirección radial, donde se manifiesta un notable incremento de sus magnitudes en favor de la resistencia y el módulo de rotura correspondiente; coincidiendo en este sentido con los trabajos desarrollados por Belleville *et al.* (2020) y Fos *et al.* (2023) (Tabla 4)..

Tabla 4. - Análisis de comparación de medias de las propiedades físicas de la madera de *Q. sagraeana* en la dirección médula-corteza. Prueba Duncan

Propiedad	Posición de las muestras en la dirección medula corteza			
	A	B	C	D
Compresión paralela a las fibras, kgf/cm ² .	520,24d	600,01c	708,32b	1004,25a
Compresión perpendicular a las fibras, kgf/cm ² .	281,21d	311,34c	382,87b	542,84a
Flexión estática, kgf/cm ² .	846,45c	976,47b	1154,32b	1633,94a

Los valores obtenidos para las tres propiedades analizadas están en correspondencia con los resultados expuestos por Jiang *et al.* (2014) y Aydin (2020); son superiores a los expuestos por Carmona *et al.* (2020); denotan la alta resistencia presente en esta especie, lo cual le posibilita ser utilizada con fines ingenieriles según Guerra *et al.* (2019), quien clasifica la especie como muy resistente.



En función de lo antes planteado, se define que para una mejor utilización de las trozas de *Quercus sagraeana* en el aserradero, con el fin de obtener diferentes productos maderables, es necesario desarrollar una metodología de aserrado que optimice el corte de apertura para una mayor utilización de la madera cercana a la corteza, lo que constituye que esta sección de la madera es más resistente y con mayor calidad.

Por lo que a continuación expone, como con el empleo de la Geometría descriptiva y el cálculo diferencial, se puede alcanzar el resultado propuesto, para la toma de decisiones durante el proceso productivo.

Es por esto que se hace necesario buscar una expresión matemática, que garantice el volumen máximo de una viga de base rectangular a obtenerse de una troza identificada como un cono truncado, en la solución de este problema se la teoría de extremos de funciones de una variable real.

Por lo que una troza de longitud “ l ” tiene forma cónica en dependencia de la variación de los diámetros en la base y diámetro en la rabiza; esto trae como consecuencia una reducción de la eficiencia del proceso de transformación primaria de la madera en los aserraderos. Se desea encontrar un prisma de base rectangular que tenga el mayor volumen posible, a partir de la troza cónica Figuras 3 y 4, Ecuación 9.

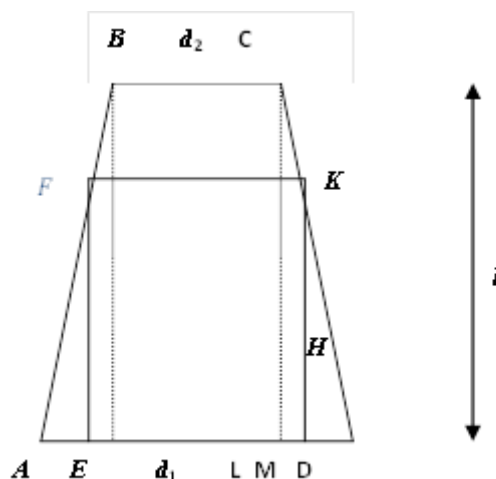


Figura 3. - Sección transversal de la troza y el prisma de mayor volumen posible a extraer de la misma



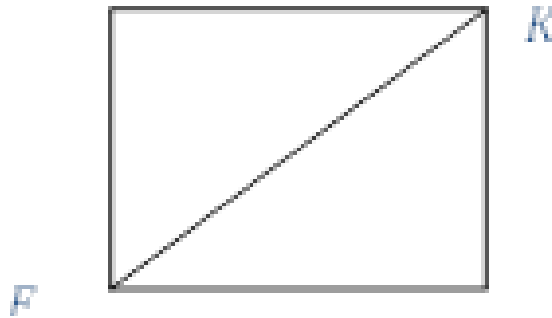


Figura 4. - Sección transversal del prisma de base rectangular

$$Fk = em = d1 - 2md \quad (md = ea). \quad (9)$$

d : diámetro de la base.

$$si \Delta cld \sim \Delta kmd$$

$$\Delta kdm = \Delta cdl (\Delta \text{ comunes}).$$

$$\Delta kmd = \Delta cld 90^0 \quad (cl \perp ad \text{ y } km \perp ad)$$

se cumple que:

como fk es la diagonal de la sección transversal del prisma de base rectangular, la función a optimizar es Ecuación 10:

$$V = Ab * H \quad (10)$$

Se toma en cuenta que en un círculo el rectángulo de mayor área que se puede inscribir es el cuadrado, se considera que el prisma de mayor interés tiene la base cuadrada.

Se tiene en cuenta que los valores de la solución deben estar en el intervalo $(0, 1)$, se desecha el punto, entonces se trata de analizar el punto Ecuación 11;

$$, h = \frac{d_1 l}{(3d_1 - 3d_2)} \quad (11)$$

$$0 \quad \frac{l}{3} \quad \frac{d_1 l}{(3d_1 - 3d_2)} \quad \frac{2d_1 l}{(3d_1 - 3d_2)} \quad \frac{d_1 l}{(d_1 - d_2)}$$



$$\frac{d_1 l}{(3d_1 - 3d_2)} < \frac{2ld_1}{3d_1 - 3d_2} < \frac{ld_1}{d_1 - d_2}$$

$$\left. \frac{dV}{dh} \right|_{h=\frac{d_1 l}{(3d_1 - 3d_2)}} = \left(\frac{d_1}{3} \right) \cdot \left(-\frac{3d_1}{6} \right) < 0$$

Por tanto, basta tomar $h = \frac{d_1 l}{(3d_1 - 3d_2)}$, para que el volumen del prisma de base cuadrada sea máximo.

Después de haber determinado la altura óptima, se procede a calcular la distancia de corte con el fin de obtener el mayor volumen posible de madera de la troza Figura 5.

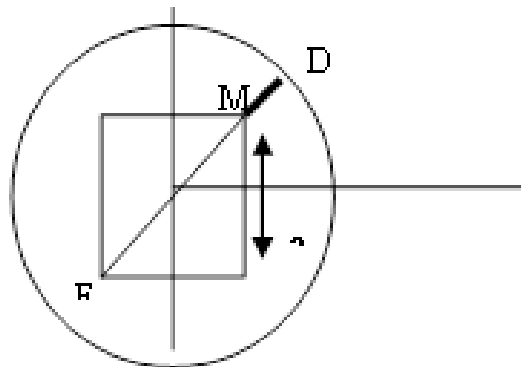


Figura 5. - El prisma dentro del diámetro de la base

A partir de estas ecuaciones se obtienen los resultados del cálculo de la longitud de corte por clases diamétricas, para la especie objeto de estudio; es destacable que, en el caso de la especie en estudio, que no es necesario aplicar metodologías de aserrado debido a factores como las tensiones de crecimiento.

La longitud de corte (lc) para el corte de apertura de la troza según las clases diamétricas queda reflejadas en la Tabla 5.

A partir de ecuaciones se obtienen los resultados del cálculo de la longitud de corte por clases diamétricas, es destacable que en el caso de la especie en estudio no es necesario aplicar metodologías de aserrado debido a factores como las tensiones de crecimiento.



La longitud de corte (lc) para el corte de apertura de la troza según las clases diamétricas queda reflejadas en la Tabla 5.

Tabla 5. - Cálculo de la longitud de corte de *Quercus sagraeana*.

<i>Cd</i>	<i>db (m)</i>	<i>dr (m)</i>	<i>l (m)</i>	<i>lc (cm)</i>
18,0 - 23,9	0,2093	0,1658	4	4,019
24,0 - 28,9	0,2605	0,2027	4	5,007
29,0 - 33,9	0,3142	0,2352	4	6,057
34,0 - 38,9	0,3863	0,2697	4	7,487

CONCLUSIONES

Los resultados muestran un fuerte efecto del parámetro distancia de la médula a la corteza en todas las características de la madera de *Quercus sagraeana*.

Se aprecia una importante relación positiva entre las propiedades de resistencia de la madera y su densidad.

La aplicación en los esquemas de aserrado de trozas de *Quercus sagraeana* y las dimensiones de corte de apertura, proporcionan mayores volúmenes de madera de calidad, al considerarse la variación de las propiedades estudiadas en la dirección radial de las trozas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁLVAREZ LAZO, D., DOMINGOS SEBASTIAO, J.D., BUANGA LELO, F.N.N., SILVA FUENTES, S. y ESTEVES VALDES, I., 2020. Análisis de la calidad del aserrado de maderas tropicales en Cabinda, Angola. Revista Cubana de Ciencias Forestales [en línea], vol. 8, no. 1, [consulta: 28 febrero 2024]. ISSN 2310-3469. Disponible en: <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/452>.



- ARAMBURU, A., GATTO, D.A., BELTRAME, R. y DELUCIS, R., 2023. Sampling sufficiency for mechanical properties of wood. *Maderas. Ciencia y tecnología* [en línea], vol. 25, no. 11, DOI 10.4067/S0718-221X2023000100411. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/369804618_Sampling_sufficiency_for_mechanical_properties_of_wood.
- BELLEVILLE, B., LANCELOT, K., GALORE, E. y OZARSKA, B., 2020. Assessment of physical and mechanical properties of Papua New Guinea timber species. *Maderas. Ciencia y Tecnología* [en línea], vol. 22, no. 1, [consulta: 5 marzo 2024]. ISSN 0717-3644, 0718-221X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48564116001>.
- CARMONA UZCATEGUI, M.G., SEALE, R.D. y NISTAL FRANÇA, F.J., 2020. Physical and mechanical properties of clear wood from red oak and white oak:: *BioResources*. *BioResources* [en línea], vol. 15, no. 3, [consulta: 5 marzo 2024]. Disponible en: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/physical-and-mechanical-properties-of-clear-wood-from-red-oak-and-white-oak/>.
- ERDENE-OCHIR, T., ISHIGURI, F., NEZU, I., TUMENJARGAL, B., BAASAN, B., CHULTEM, G., OHSHIMA, J. y YOKOTA, S., 2021. Modeling of radial variations of wood properties in naturally regenerated trees of *Betula platyphylla* grown in Selenge, Mongolia. *Journal of Wood Science* [en línea], vol. 67, no. 1, [consulta: 6 marzo 2024]. ISSN 1611-4663. DOI 10.1186/s10086-021-01993-5. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s10086-021-01993-5>.
- FOS, M., OLIVER VILLANUEVA, J.V. y VAZQUEZ, M., 2023. Radial variation in anatomical wood characteristics and physical properties of *Paulownia elongata* x *Paulownia fortunei* hybrid Cotevisa 2 from fast-growing plantations. *European Journal of Wood and Wood Products* [en línea], vol. 81, no. 4, [consulta: 6 marzo 2024]. ISSN 1436-736X. DOI 10.1007/s00107-023-01941-8. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00107-023-01941-8>.



- GUERRA CASTELLÓN, D.; ÁLVAREZ LAZO, D.; BARRERO MEDEL, H.; GONZÁLEZ MENÉNDEZ, M.; GOROSPE ZETINA, H. 2019. Variación del coeficiente de rozamiento médula-corteza de la especie *Quercus cubana* A. Rich en Pinar del Río. Revista Cubana de Ciencias Forestales, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 28-39, 2019. Disponible en: <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/403>.
- HONORATO SALAZAR, J.A. y FUENTES LÓPEZ, M.E., 2021. Propiedades Físico-Mecánicas de la madera de cinco especies de encino del estado de Guanajuato. Revista Mexicana de Ciencias Forestales [en línea], vol. 26, no. 90, [consulta: 6 marzo 2024]. Disponible en: <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/911>.
- IBÁÑEZ, C.M., GHERSCOVIC, D., IBAÑEZ, C.M. y GHERSCOVIC, D., 2021. Use of *Eucalyptus grandis* clones treated with a water repellent to improve the dimensional stability of utility poles. Maderas. Ciencia y tecnología [en línea], vol. 23, [consulta: 6 marzo 2024]. ISSN 0718-221X. DOI 10.4067/s0718-221x2021000100439. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-221X2021000100439&lng=es&nrm=iso&tlng=en.
- JIANG, J., LU, J., ZHOU, Y., ZHAO, Y. y ZHAO, L., 2014. Compression strength and modulus of elasticity parallel to the grain of oak wood at ultra-low and high temperatures. BioResources [en línea], vol. 9, no. 2, [consulta: 6 marzo 2024]. Disponible en: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/compression-strength-and-modulus-of-elasticity-parallel-to-the-grain-of-oak-wood-at-ultra-low-and-high-temperatures/>.
- JORGE DA COSTA, L., OLIVEIRA PAULA, E.A. de, RODOLFO MELO, R., SCATOLINO, M., ALBUQUERQUE, F., RODRIGUES AMARO DE OLIVEIRA, R., GALDINO DE SOUZA, J.A., VIEIRA DA SILVA, A.K., CHAGAS DOS SANTOS, M.E. y RODOLFO JUNIOR, F., 2023. Improvement of the properties of hardboard with heat treatment application. Matéria (Rio de Janeiro) [en línea], vol. 28, no. 1, DOI 10.1590/1517-7076-rmat-2022-0291. Disponible en:



https://www.researchgate.net/publication/368625875_Improvement_of_the_properties_of_hardboard_with_heat_treatment_application.

KNAPIC, S., LINHARES, C.S.F. y MACHADO, J.S., 2022. Compressive and Bending Strength Variations in the Properties of Portuguese Clear Oak Wood. *Forests* [en línea], vol. 13, no. 7, [consulta: 6 marzo 2024]. ISSN 1999-4907. DOI 10.3390/f13071056. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1999-4907/13/7/1056>.

LÍCIO LOIOLA, P., JORGE KLITZE, R., PEREIRA DA ROCHA, M. y BAPTISTA VIDAURE, G., 2021. Physical properties of wood *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* and *Pinus oocarpa* for pencil production. *Floresta* [en línea], vol. 51, no. 2, DOI 10.5380/rf.v51i2.68955. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/352017294_PHYSICAL_PROPERTIES_OF_WOOD_Pinus_caribaea_var_caribaea_Pinus_caribaea_var_hondurensis_AND_Pinus_oocarpa_FOR_PENCIL_PRODUCTION.

MARIEL GUERA, O.G., ALEIXO DA SILVA, J.A., CARACIOLO FERREIRA, R.L., ÁLVAREZ LAZO, D., BARRERO MEDEL, H., GAROFALO NOVO, M.C., FILHO, M.C. y LIMA SILVA, J.W., 2021. Modelos de Regresión Logística Multinomial Ordinal y Redes Neuronales Artificiales para la clasificación de madera aserrada. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* [en línea], vol. 18, no. 43, [consulta: 6 marzo 2024]. ISSN 2215-2504. DOI 10.18845/rfmk.v19i43.5806. Disponible en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2215-25042021000200029&lng=en&nrm=iso&tlng=es.

MARINI, L.J., HENDRIGO ALMEIDA, T., HENRIQUE ALMEIDA, D., CHRISTOFORO, A.L. y ROCCO LAHR, F.A., 2020. Estimativa da resistência e da rigidez à compressão paralela às fibras da madeira de *Pinus* sp. pela colorimetria. *Ambiente Construído* [en línea], vol. 21, no. 1, [consulta: 6 marzo 2024]. ISSN 1415-8876, 1678-8621. DOI 10.1590/s1678-86212021000100499. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/ac/a/mXLWckxzdMn6RpQspH4ksSy/abstract/?lang=pt>.



- NAZARI, N., BAHMANI, M., KAHYANI, S., HUMAR, M., & KOCH, G. 2020. Geographic variations of the wood density and fiber dimensions of the Persian oak wood. *Forests*, vol. 11 no. 9.
- PUPO CARBALLO, I., ÁLVAREZ LAZO, D., ESTEVES VALDES, I., GUERRA CASTELLÓN, D. y MOREJÓN RIVERA, R., 2023. Incremento de los rendimientos de madera aserrada de *Eucalyptus* sp en la unidad de base agroindustrial Los Palacios, Pinar del Río, Cuba. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* [en línea], vol. 11, no. 3, [consulta: 6 marzo 2024]. ISSN 2310-3469. Disponible en: <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/802>.
- SOARES MODES, K., BARTOLETTO JÚNIOR, G., VIVIAN, M. y HILGERT SANTOS, L., 2020. Propriedades físico-mecânicas da madeira sólida de *Schizolobium amazonicum*. *Advances in Forestry Science* [en línea], vol. 7, no. 2, DOI 10.34062/afs.v7i2.9687. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/342543363_Propriedades_fisico-mecanicas_da_madeira_solida_de_Schizolobium_amazonicum.
- TORKGHASHGHAEL, M., SHAFFER, W., GEORGES, R. et al. 2023. Effect of variable engineered micro-geometry of the cutting edges of circular saws on the surface quality of SPF boards. *Eur. J. Wood Prod.* vol. 81, ISSN: 1261-1276. <https://doi.org/10.1007/s00107-023-01961->
- VALDÉS REINOSO, R.H., ÁLVAREZ LAZO, D.A., FERNÁNDEZ CONCEPCIÓN, R.R., DÍAZ ACOSTA, A. y GARCÍA CONTINO, N.S., 2022. Análisis de las preferencias de madera para la producción de muebles en Pinar del Río y Artemisa, Cuba. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* [en línea], vol. 10, no. 2, [consulta: 6 marzo 2024]. ISSN 2310-3469. Disponible en: <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/755>.
- VEGA, M., HAMILTON, M., DOWNES, G., HARRISON, P.A. y POTTS, B., 2020. Radial variation in modulus of elasticity, microfibril angle and wood density of veneer logs from plantation-grown *Eucalyptus nitens*. *Annals of Forest Science* [en línea], vol. 77, no. 3, [consulta: 6 marzo 2024]. ISSN 1297-966X. DOI 10.1007/s13595-020-



00961-1. Disponible en:
<https://annforsci.biomedcentral.com/articles/10.1007/s13595-020-00961-1>.

VIRGEN COBOS, G.H., OLVERA LICONA, G., HERMOSO, E. y ESTEBAN, M., 2022. Nondestructive Techniques for Determination of Wood Mechanical Properties of Urban Trees in Madrid. Forests [en línea], vol. 13, no. 9, [consulta: 6 marzo 2024]. ISSN 1999-4907. DOI 10.3390/f13091381. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1999-4907/13/9/1381>.

WINCK, R.A., AREA, M.C., BELABER, E.C., AQUINO, D.R., FASSOLA, H.E. y GAUCHAT, M.E., 2022. Caracterización morfológica de las traqueidas de pino híbrido de rápido crecimiento. Maderas. Ciencia y tecnología [en línea], vol. 24, [consulta: 6 marzo 2024]. ISSN 0718-221X. DOI 10.4067/s0718-221x2022000100443. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-221X2022000100443&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

YILMAZ AYDIN, T., 2020. Ultrasonic evaluation of time and temperature-dependent orthotropic compression properties of oak wood. Journal of Materials Research and Technology [en línea], vol. 9, no. 3, [consulta: 5 marzo 2024]. ISSN 2238-7854. DOI 10.1016/j.jmrt.2020.04.006. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785420311716>.

Conflictos de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

