

# **INFLUENCIA DEL ESPACIAMIENTO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MADERA DE *PINUS CARIBAEA* MORELET VAR. *CARIBAEA***

ING. ALBERTO IBÁÑEZ DRAKE,<sup>1</sup> DR. PEDRO PABLO HENRY TORRIENTE,<sup>1</sup>  
M.Sc. OMAR IZQUIERDO CHALA<sup>2</sup> Y DR. JUAN MANUEL GARCÍA DELGADO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Investigaciones Forestales. Calle 174 no. 1723  
e/ 17B y 17C, Rpto. Siboney, Playa, La Habana

<sup>2</sup> Servicio Estatal Forestal, EFI Macurije. Carretera a Mantua, Km 9,  
Guane, Pinar del Río, Cuba

---

## **RESUMEN**

*Este artículo tiene como objetivo analizar la influencia que tiene el marco de plantación en las propiedades físicas-mecánicas de la madera de la especie Pinus caribaea Morelet ssp. Caribaea morelet (pino macho). Se obtuvieron muestras procedentes de un experimento montado en la Estación Experimental de Viñales hace más de treinta años, donde se establecieron cinco diferentes espaciamientos 3 x 1, 3 x 1,5, 3 x 2, 3 x 2,5 y 3 x 3, a los que se les practicaron los ensayos correspondientes de acuerdo con las normas cubanas e internacionales existentes. Los estudios físicos demostraron que la densidad normal de la madera y la contracción volumétrica total se comportaron mayor en el espaciamiento de 3 x 3; sin embargo, la relación T-R fue inferior en este último, al mostrar 1, 22% por 1,47% en el 3 x 1, lo cual define la mayor dificultad que deben tener los menores espaciamientos durante el secado de la madera aserrada. Los resultados de este trabajo fueron que el marco de plantación 3 x 3 es el que mejor calidad de la madera mostró en sus propiedades físico-mecánicas, la baja relación tangencial radial, la alta densidad y altos valores de esfuerzos mecánicos que la hacen sobresalir de las demás.*

Palabras clave: *plantación, espaciamiento, propiedades físicas y mecánicas*

## **ABSTRACT**

*This paper has as objective to analyze the influence that has the plantation spacing in the physical and mechanical properties of the wood of the species Pinus caribaea morelet ssp Caribaea morelet (Male Pine). samples coming from an experiment were obtained had mounted more than for 30 years in the Experimental Station of Viñales, where five different spacing settled down: 3x1, 3x1,5 3x2, 3x2,5 and 3x3, to which were practiced the corresponding test according to the existent Cuban and international norms. The physical studies demonstrated that the specific gravity of the wood and the shrinkage in volume behaved bigger in the spacing of 3x3; however the Relationship T/R was inferior in this last one showing a 1, 22% for 1,47% in the 3x1, that which defines the biggest difficulty that they should have the smallest spacing during the drying of the sawed wood. The results of this paper gave that the plantation spacing 3x3 are the one that better quality of the wood showed from the point of view of their properties physique mechanics, the low radial tangential relationship, the high specific gravity and high values of mechanical efforts make it stand out with regard to the other ones.*

Key words: *plantation, spacing, physical and mechanical properties*

## INTRODUCCIÓN

Durante muchos años se han realizado en Cuba importantes investigaciones sobre vivero, establecimiento de plantaciones y el comportamiento e incremento en volumen de *Pinus caribae* Morelet ssp. *Caribaea morelet* (pino macho) en diferentes calidades de sitios; sin embargo, la información existente sobre el posible efecto de los trabajos silviculturales en la calidad de la madera en términos del mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas ha sido poco tratado. Esta especie maderable es la que mayor volumen aporta a la industria forestal cubana, y en la cual se asientan muchos usos y servicios. Se halla representada principalmente en la región occidental del país. Hernández et al. (1996), citando a Jozsa y Brix (1989), señalan una disminución en la densidad de la madera del abeto Douglas (*Pseudotsuga menziesii*) a 1,30 m de altura y a 25% de la altura del árbol, como resultado de la aplicación de tres niveles de aclareos. Por otra parte, estos mismos autores, citando a Daniel et al. y a Markstrom et al. (1983), apuntan que se ha encontrado que el efecto de los aclareos sobre la densidad de la madera puede variar. Si se afecta la proporción relativa madera temprana en un anillo, elevándola, la densidad de la madera generalmente disminuye; si, por el contrario, se eleva el porcentaje de madera tardía, la densidad de la madera también aumenta.

Tradicionalmente la madera que se obtiene para la transformación industrial proviene de áreas donde se practican diversos espaciamientos,

que buscan el mayor rendimiento volumétrico sin atender el destino que corre el producto final. Atendiendo a ello, Ladrach (1986) señala que con demasiada frecuencia los inventarios forestales se refieren a la productividad del bosque en términos de volumen por hectáreas, sin referencia alguna a la calidad de la madera que se produce. Este autor señala que muchas industrias no comprenden la necesidad de controlar las propiedades de la madera, y continúan la reforestación con plántulas no mejoradas, o solo tratan de mejorar los rendimientos en volumen, pero no la calidad de la madera.

El objetivo de este trabajo es estudiar preliminarmente la influencia que tiene el espaciamiento inicial en las propiedades físico-mecánicas de la madera de *Pinus caribae* Morelet ssp. *Caribaea morelet*, y a partir de ellas evaluar su calidad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los árboles utilizados para este trabajo provienen de un experimento montado en la Estación Experimental Forestal de Viñales, hace más de treinta años, donde se establecieron cinco espaciamientos diferentes: 3 x 1, 3 x 1,5, 3 x 2, 3 x 2,5 y 3 x 3. A partir de un muestreo al azar simple se tomaron tres árboles muestra por cada marco de plantación, lo que corresponde, según la norma cubana NC 43-27:87 referente al volumen total de árboles por especies, un estudio preliminar.

Inicialmente para cada una de los espaciamientos se determinó el nú-

mero de anillos por centímetro mediante un pie de rey con precisión milimétrica. En este ensayo sirvieron de base las probetas utilizadas para determinar la dureza. En la determinación de la densidad se emplearon las probetas de los ensayos mecánicos. Los valores que se presentan responden a la densidad normal, es decir, peso entre volumen con 12% de humedad. Las mediciones se hicieron con un pie de rey con precisión milimétrica, en tanto los valores de pesos se determinaron con una balanza digital Sartorius Multiplato de 0,1 g de precisión. El volumen se obtuvo cubicando cada una de las secciones de las probetas.

En la determinación de las contracciones volumétricas totales fueron empleadas probetas de 30 x 30 x 15 mm, según lo establecido por la norma DIN 52 184. Se hicieron mediciones sobre los ejes medios en cada sentido: estado verde, seco al aire y seco al horno. Con estos valores se calcularon las contracciones radiales, tangenciales y volumétricas totales a partir de la suma de las últimas dos desde verde a seco al aire, y desde verde a seco al horno. Se emplearon un total de 100 probetas, 20 para cada espaciamiento, no considerándose utilizar probetas, para la contracción longitudinal por entenderse que su valor es despreciable.

Para los ensayos de dureza se aplicó la metodología establecida por la norma ASTM D143-52 (1974). Se utilizaron probetas de 5 x 5 x 30 cm para el marco de plantación 3 x 1 (10 probetas); 3 x 1,5 (12 probetas); 3 x 2 (10 probetas); 3 x 2,5 (17 probetas)

y 3 x 3 (10 probetas). Los ensayos para la compresión paralela a las fibras se hicieron según la norma ISO 3787 con probetas de 20 x 20 de sección transversal y 50 mm de longitud. Se aplicó una carga creciente a una velocidad constante sobre uno de los extremos de la probeta hasta la rotura, con duración de  $1,5 \pm 0,5$  min. Se utilizaron un total de 100 probetas: 25 para el 3 x 1; 15 para el 3 x 1,5; 16 para el 3 x 2; 14 para el 3 x 2,5 y 30 para el 3 x 3. En cuanto al ensayo de compresión perpendicular a las fibras, se adopta la norma ISO 3132. Sus dimensiones en sección transversal y longitud coinciden con las de paralela. Se aplica una carga de  $1,5 \pm 0,5$  mm de duración concentrada en un área de 2,854 cm. Se determinó el límite proporcional en compresión perpendicular a las fibras. Excepto el marco de plantación de 3 x 1 –que no existían probetas disponibles–, fueron ensayadas para el 3 x 1,5 (9); 3 x 2 (14); 3 x 2,5 (14) y 3 x 3 (16).

La flexión estática se obtiene de un ensayo simple, realizado con una probeta colocada sobre dos apoyos distintos, con 25 cm de luz, y que soporta en su centro una carga lentamente creciente hasta su ruptura. Se ensayaron cinco probetas por marco de plantación, cumpliendo lo estipulado en la norma ISO 3133 con probetas de 2 x 2 cm de sección transversal y 30 cm de largo. Para la flexión dinámica o tenacidad se ensayaron igualmente cinco probetas por marco de plantación con las mismas dimensiones que para la flexión estática. Este ensayo se realiza por mazo o péndulo en las condiciones definidas por la

norma NFB 51-009. La magnitud del ensayo es el trabajo total de la ruptura expresada en kilogramo por centímetro cuadrado o en Joule [Ibáñez, 1975]. Los valores de los esfuerzos mecánicos obtenidos para humedades  $12 \pm 3\%$  fueron ajustados mediante un factor K a 12%, humedad correspondiente a cada una de las pruebas. Después de obtener los valores de las pruebas para cada uno de los espaciamientos se hizo un análisis de varianza para saber la existencia o no de diferencias significativas entre ellos. Para este objetivo se utilizó el sistema estadístico SPSS 10.0.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El número de anillos por centímetro para cada espaciamiento resultó ser

TABLA 1

Resultados de las propiedades físicas por espaciamientos

Propiedad física	Espaciamientos				
	3 x 1	3 x 1,5	3 x 2	3 x 2,5	3 x 3
• Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0,716	0,750	0,704	0,712	0,804
• Contracción volumétrica (%)					
- Total	13,2	11,6	13,7	12,9	14,3
- Radial	5,5	4,3	5,8	5,4	6,9
- Tangencial	7,7	7,3	7,7	7,1	7,4
• Relación T-R	1,40	1,69	1,33	1,32	1,20
• Punto de Saturac. Fibra (%)	25	26,8	28,5	28,2	27

En cuanto a la densidad, los resultados que reflejan la *Tabla 2* muestran que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los espaciamientos con  $P < 0,05$ ; sin embargo, el marco de plantación de 3 x 3 presenta el mayor valor de todos con 0,804 g/cm<sup>3</sup>. Esto se debe a que los anillos tienen una mayor uniformidad y con poca separación desde la médula. Estos resultados están a tono con lo planteado por Daniel et al. (1982), quienes señalan

mayor en el 3 x 3 con 3,16, y menor en el 3 x 2,5 con 2,02. Para el 3 x 1 se obtuvo 2,44; 3 x 1,5 para 2,24, y 3 x 2 en 2,36. García et al. (2002) y González (1999), al comparar estos espaciamientos en el volumen por hectárea, obtuvieron que el 3 x 2,5 tuvo 468 m<sup>3</sup>/ha, seguido del 3 x 3 con 357,25 m<sup>3</sup>/ha. Se contrasta con lo obtenido en este trabajo con una menor y mayor cantidad de anillos respectivamente.

En la *Tabla 1* se muestran los resultados para los ensayos físicos. Hubo una mayor densidad para el espaciamiento 3 x 3, y menor para el 3 x 2. La relación tangencial radial se comporta menor en el espaciamiento mayor y menos favorable en el 3 x 1.

que la regulación continua del espaciamiento da como resultado un desarrollo más uniforme de los anillos de crecimiento, y por ende la producción de fustes de alta calidad.

Acerca de los resultados de las contracciones volumétricas totales (B) y las relaciones tangenciales radiales (T/R) que se muestran en la *Tabla 2*, se observa que no existen diferencias significativas entre los espaciamientos, siendo, según la *Tabla 1*,

el marco de plantación 3 x 3 el que presentó las contracciones volumétricas más altas con 14,3%, y las relaciones tangenciales radiales más bajas con 1,20. Estos resultados coinciden con los de Ibáñez *et al.* (2001), en la misma especie 13,7% de contracción volumétrica total y 1,23 de relación T-R. Según la norma UNE

56-540-78 (1978), los resultados que se presentan en la *Tabla 3* en cuanto a la densidad, la madera tiende a ser más pesada en el mayor espaciamiento. La contracción volumétrica y la relación tangencial radial se consideran como media, siendo el espaciamiento más amplio el más favorable.

TABLA 2  
Prueba estadística de Kruskal-Wallis  
para la densidad, contracción volumétrica total  
y la relación tangencial-radial

	<i>Densidad</i>	<i>T/R</i>	<i>B</i>
Chi-Square	11,854	36,951	24,739
Df	4	4	4
Asymp. Sig.	0,018	0,000	0,000

TABLA 3  
Clasificación de la especie de acuerdo con su densidad,  
contracción volumétrica total y relación tangencial radial

<i>Espaciamiento</i>	<i>Densidad</i>	<i>Cont. volum. total (%) (B)</i>	<i>T-R</i>
3 x 1	Pesada	Media	Normal
3 x 1,5	Pesada	Media	Normal
3 x 2	Pesada	Media	Normal
3 x 2,5	Pesada	Media	Normal
3 x 3	Muy pesada	Media	Favorable

Los resultados de los ensayos mecánicos que se observan en la *Tabla 4* reflejan mejores propiedades en el marco de plantación de 3 x 3, comportándose la dureza, compresión paralela a las fibras y tenacidad, mayores en este último. Lo obtenido, tanto de las propiedades físicas como mecánicas, coincide con lo alcanzado para la misma especie por Ibáñez *et al.* (2001).

Los resultados de la *Tabla 5* muestran el análisis para las pruebas mecánicas. En las compresiones paralelas y perpendiculares a las fibras

no existen diferencias estadísticamente significativas entre los espaciamientos; sin embargo, sí se produjeron en la dureza, flexión estática y tenacidad. La *Tabla 6* muestra la clasificación de cada una de las propiedades mecánicas. La madera para la compresión paralela a las fibras como alta, siendo solamente el 3 x 1 media. La compresión perpendicular a las fibras es baja, la flexión estática es pequeña, la tenacidad muy resistente, y la dureza tuvo un valor medio, siendo el marco de plantación de 3 x 3, clasificado como *alta*, coin-

ciendo igualmente con el valor de más alta densidad.

Los resultados de este trabajo reflejan que el marco de plantación 3 x 3 es el que mejor calidad de la madera mostró en sus propiedades físico-mecánicas. La baja relación tangencial radial, la alta densidad y altos valores de esfuerzos mecánicos

la hacen sobresalir con respecto a los otros. Estudios realizados por García et al. (2003) en los mismos espaciamientos determinaron que la proporción de calidades superiores de madera aserrada resultó menor en el 3 x 3, con 17,37; sin embargo, los marcos de plantación más estrechos se comportaron muy superiores.

**TABLA 4**  
Resultados de las propiedades mecánicas por espaciamientos

Propiedad mecánica	Espaciamientos				
	3 x 1	3 x 1,5	3 x 2	3 x 2,5	3 x 3
• Dureza (kg)	539,0	515,0	534,0	546,0	608,0
• Compresión perpendicular a las fibras (kg/cm <sup>2</sup> ) RLE	-	121,33	109,0	121,0	103,0
• Compresión paralela a las fibras (kg/cm <sup>2</sup> ) RR	446,0	532,0	518,0	530,0	653,0
• Flexión estática (kg/cm <sup>2</sup> ) RR	1211	1067	587	-	1143
• Tenacidad (kg/cm <sup>2</sup> ) RR	5,96	4,8	2,80	4,87	7,05

**TABLA 5**  
Prueba estadística de Kruskal-Wallis para las pruebas mecánicas

	Compresión paralela a las fibras	Compresión perpendicular a las fibras	Flexión estática	Tenacidad	Dureza
Chi-Square	25,764	8,473	2,100	7,170	7,379
Df	4	3	3	4	4
Asymp. Sig.	0,000	0,037	0,552	0,127	0,117

**TABLA 6**  
Clasificación de la especie de acuerdo con sus propiedades mecánicas

Propiedad mecánica	Espaciamientos				
	3 x 1	3 x 1,5	3 x 2	3 x 2,5	3 x 3
• Dureza	Media	Media	Media	Media	Alta
• Compresión perpendicular a las fibras (kg/cm <sup>2</sup> )	-	Baja	Baja	Baja	Baja
• Compresión paralela a las fibras (kg/cm <sup>2</sup> )	Media	Alta	Alta	Alta	Alta
• Flexión estática (kg/cm <sup>2</sup> )	Mediana	Pequeña	Pequeña	Pequeña	Pequeña
• Tenacidad (kgfm/cm <sup>2</sup> )	Muy resistente	Muy resistente	Muy resistente	Muy resistente	Muy resistente

## CONCLUSIONES

- Los resultados de este trabajo arrojan que el marco de plantación 3 x 3 es el que mejor calidad de la madera mostró en sus propiedades físico-mecánicas. La baja relación tangencial-radial, la alta densidad y altos valores de esfuerzos mecánicos la hacen sobresalir de los demás.
- Los resultados reflejaron que densidades altas son proporcionales a valores de las propiedades mecánicas altas, comportándose la dureza, la flexión estática y las compresiones paralela y perpendicular a las fibras mayores en el marco de plantación de 3 x 3.
- Seguir profundizando en otros estudios en los que se tengan en cuenta las propiedades de la madera y los espaciamientos en áreas de producción, donde se incluya la proporción de madera temprana y tardía en el anillo de crecimiento.
- Este resultado es un elemento más que se tiene en cuenta al decidir el marco de plantación más idóneo para utilizar en las condiciones de producción.

## BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS: *Paint, Naval Store, Cellulose, Wax, Polish, Wood,*

*Acoustical Materials, Sandwich and Building Contruccion, Fire tests, Part 4, Filadelfia, 1955.*

DANIEL, P. W. ET AL.: *Principios de la silvicultura*, 2a. ed., Mc Graw-Hill, México, 1982.

GARCÍA ET AL.: «El espaciamiento inicial y la calidad de la madera aserrada de *Pinus caribaea* Morelet ssp. *Caribaea*», 2003.

GONZÁLEZ, M.: «Determinación del número inicial de árboles por hectárea más adecuado para el establecimiento de plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet con el objetivo de obtener maderas de grandes dimensiones». Tesis en opción al grado de Máster en Ciencias, Universidad de Pinar del Río, Cuba, 1999.

HERNÁNDEZ, A. ET AL.: (1996) «Características de los anillos y densidad de la madera a diferentes alturas del fuste en rodales aclareados», revista *Ciencia Forestal Mexicana*, jul.-dic., 1996, pp. 39-55.

HERRERA FERREIRA, M.; S. BOCANEGRA: «Características físico-mecánicas de la madera de 15 especies del municipio de Morelia», *Ciencia y Tecnología de la Madera*, Revista de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, no. 10, sept.-dic. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 1996, pp. 3-11.

IBÁÑEZ, A.: *Propiedades y usos de 50 especies maderables que crecen en Cuba*, 2001.

LADRACH, W. E.: «Control de las propiedades de la madera en las plantaciones con especies exóticas», Investigación Forestal. Informe de Investigación no. 106. Cartón de Colombia, Cali, 1996.

NC 43-27:87. Propiedades físico-mecánicas.

Normas ISO-1975. Draft International Standard, ISO 3133, ISO 3137.

Normas Francesa (1949) NFB. 51-009.

UNE 56-540-78. Características físico-mecánicas de la madera: interpretación de los resultados de los ensayos. Norma española.