

EMPLEO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA EN LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE LA INDUSTRIA FORESTAL

USE OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF THE WOOD IN THE SOLUTION OF PROBLEMS OF THE FOREST INDUSTRY

DR. JUAN M. GARCÍA-DELGADO Y DR. PEDRO P. HENRY-TORRIENTE

Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. UCTB de Investigación Innovación Tecnológica.
Calle 174 no. 1723 e/ 17B y 17C, Siboney, Playa, La Habana, Cuba, jmgarcia@forestales.co.cu

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo elaborar programas de secado para las cuatro especies de pinos que existen en Cuba: *Pinus tropicalis* Morelet (pino hembra), *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari (pino macho), *Pinus cubensis* Griseb (pino de Mayarí) y *Pinus maestrensis* Bisse (pino de la Sierra). Considerando las variables densidad normal ($d_{12\%}$), contracción tangencial (C_t), contracción radial (C_r), relación C_t/C_r y punto de saturación de las fibras (PSF), se selecciona el programa "complicado" atendiendo a las particularidades de las coníferas cubanas, lo cual implica la selección de temperaturas secas máximas de 75 °C para los gruesos de 25 mm, 50 mm y 75 mm, y gradientes de secado de 3,6 para 25 mm y de 3,1 para los dos gruesos que restan. Se determina igualmente la tabla de contracciones que ocurren en las piezas aserradas durante su secado.

Palabras claves: secado, especies, madera, contracción.

ABSTRACT

The present work aims to develop drying programs for the four pine species that exist in Cuba: *Pinus tropicalis* Morelet (female pine), *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret and Golfari (male pine), *Pinus cubensis* Griseb (Mayarí pine) and *Pinus maestrensis* Bisse (Sierra pine). Considering the variables normal density ($d_{12\%}$), tangential contraction (C_t), radial contraction (C_r), C_t/C_r ratio and fiber saturation point (PSF), the "complicated" program is selected, taking into account the particularities of the Cuban conifers, which implies the selection of maximum dry temperatures of 75 °C for thicknesses of 25 mm, 50 mm and 75 mm and drying gradients of 3.6 for 25 mm and 3.1, for the two remaining thicknesses. The table of contractions that occur in the sawn pieces during their drying is also determined.

Key words: drying, species, wood, shrinkage.

INTRODUCCIÓN

A partir de una demanda establecida por la actividad forestal se elaboró un listado de las principales especies arbóreas sobre las que descansaría en lo fundamental las investigaciones y, por ende, la producción de madera aserrada previstas en el Programa de Desarrollo Forestal del país hasta 2030. En este grupo de especies se destacan las cuatro especies de coníferas endémicas de Cuba (Delgado y col., 2019).

La selección de la familia de pinos cubanos se realiza atendiendo a que García y col. (2018) definen que la misma, asegurará para igual período cerca del 60 % de la materia prima para

la industria de la primera transformación, que como se conoce en Cuba, principalmente está representada por los aserraderos.

Por otra parte, el empleo de los resultados científicos de las investigaciones realizadas en el campo de las propiedades físicas, mecánicas y tecnológicas de la madera resultan imprescindibles en el manejo adecuado de las deficitarias disponibilidades de madera aserrada, lo cual abre una interrogante acerca de su utilidad práctica en la industria forestal.

En este estudio de caso se utilizan los resultados científicos obtenidos por Ibáñez y col. (2001) de

las propiedades físicas de las cuatro especies de pino existentes en el país. El objetivo del trabajo es elaborar los programas de secado artificial y la tabla de contracción volumétrica, elemento vital si se quiere sobredimensionar el grueso y ancho de la madera aserrada durante su procesamiento para obtener al final del secado, las dimensiones demandadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del trabajo se parte de la base de datos y del conocimiento de las propiedades físicas de las especies maderables *Pinus tropicalis* Morelet (pino hembra), *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari (pino macho), *Pinus cubensis* Griseb (pino de Mayarí) y *Pinus maestrensis* Bisse (pino de la Sierra), determinadas por Ibáñez y col. (2001) (Tabla 1).

Tabla 1. Propiedades físicas de la madera de los cuatro pinos cubanos esenciales para determinar el programa de secado y tablas de contracción

Especie	D_{12}	C_r	C_t	T/R	CCV	PSF
Pino hembra	740,00	5,30	7,61	1,44		32,00
Pino macho	767,00	6,20	7,60	1,23		24,00
Pino Mayarí	743,00	5,82	7,56	1,30	0,43	35,30
Pino de la Sierra	775,00	6,09	7,25	1,19		36,30

Donde:

D_{12} : Densidad de la madera al 12 % de humedad (kg/m³)

C_r : Contracción radial (%)

C_t : Contracción tangencial (%)

Relación C_t/C_r : Relación contracción tangencial y contracción radial

CCV: Coeficiente de contracción volumétrica

PSF: Punto de saturación de las fibras (%)

En las especies que no contaban con el CCV, el mismo se calcula mediante la fórmula PSF/C_t .

Se comparan las especies de pinos atendiendo a las variables densidad, punto de saturación de las fibras y contracción tangencial. En todos los casos se realizaron pruebas de Kruskal-Wallis, ya que los datos en su mayoría no cumplieron el supuesto de la normalidad, con valores de asimetría y Kurtosis fuera del rango de -2 y +2.

Para la elaboración del programa de secado artificial se utiliza el método propuesto por Vignote y col. (2006), el cual emplea fundamentalmente los datos de densidad en la madera y relación T/R (relación tangencial-radial) para determinar el programa de temperatura. Los programas de secado artificial se determinan para tres gruesos: 25 mm, 50 mm y 75 mm.

Con el programa de temperatura seleccionado en la tabla y los elementos señalados por Sidney y col (1957), citado por Hoheisel (1989), y ya descritos con anterioridad, se puede calcular el programa de secado para cada especie y grueso.

Para determinar el tiempo aproximado en cada una de las etapas para alcanzar la humedad en la madera mínima de la etapa posterior se utiliza la fórmula de Braunsin expuesta por Vignote y col. (2006) que sigue:

$$T = \frac{H_i - H_f}{a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot a_4 \cdot a_5}$$

Donde:

H_i : Humedad inicial de la etapa

H_f : Humedad final de la etapa

Coeficiente a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , a_5 , que dependen del tipo de ventilación, humedad inicial y final de la madera, densidad de la madera, grueso de la madera y ciudadado del secado, respectivamente.

El programa de secado elaborado a partir de este método es orientativo, el cual puede introducirse en el sistema de control del secador y realizar el proceso de secado a partir de los elementos que en él se brindan, o servir de guía para controlar la calidad y forma en que se desenvuelve el proceso de secado.

Para la elaboración de la tabla de las contracciones se toma el valor de la contracción tangencial atendiendo a que es este tipo de corte el que prevalece en los esquemas de aserrado utilizados en la industria de aserraderos del país.

Con dicho valor se determina para cada uno de los gruesos, cuál es el máximo de pérdidas en dimensiones en condiciones anhidras. Este valor total de merma del grueso y ancho en la pieza aserrada se divide entre el valor del PSF y se determina cuánto pierde la pieza por la reducción de un 1 % de humedad en la madera.

Para la definición de la estrategia a utilizar para la elaboración de los programas de secado artificial y las tablas de contracción volumétrica, se hizo un análisis de varianza para ver la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las propiedades fundamentales de los cuatros pinos. Para este estudio comparativo se utilizaron datos de los expedientes de las propiedades físicas de cada una de las especies.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se comparan las especies de pinos atendiendo a las variables densidad, punto de saturación de las fibras y contracción tangencial. Los gráficos de Box –and– Wisker Plot muestra, con independencia del resultado, si existe diferencia en la variable de un pino con relación a otro (Tablas 2-4).

En el análisis de la densidad queda definido que la probabilidad es mayor que 0,05 $P\text{-Value} = 0,415239$; entonces no existe diferencias estadísticamente para un nivel de significación del 95 %. En la Tabla 2 y el Gráfico 1 muestran que no hay la diferencia en la variable de una especie con respecto a otra.

Factor especie de pino

Pino macho
Pino hembra
Pino de Mayarí
Pino de la Sierra

Variables dependientes

Densidad
Punto de saturación de las fibras
Contracción tangencial

Tabla 2. Análisis de varianza para la densidad

Análisis de la densidad					
Pino	Sample size	Average rank	STND skewness	STND Kurtosis	Test R. M.
1	32	69,70	-1,16	0,03	X
2	29	58,98	1,84	-0,6	X
3	30	55,71	1,81	0,68	X
4	30	58,95	2,61	0,14	X
			4,16	0,84	
Test statistic = 2,85057 P-Value = 0,415239					

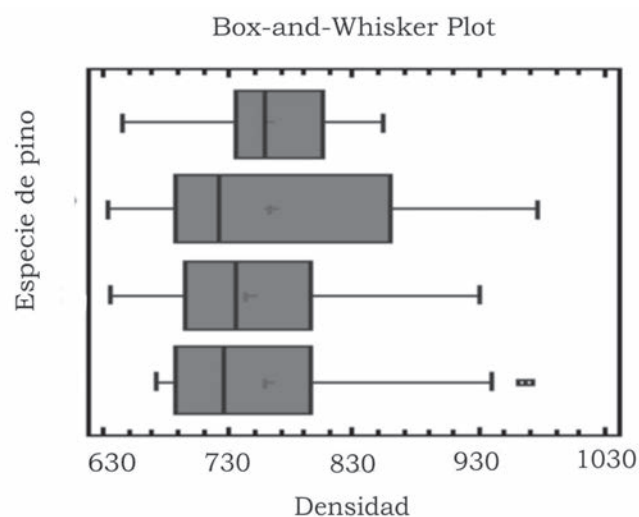


Gráfico 1. Comparación de las medias para la densidad.

En el análisis del punto de saturación de las fibras (PSF), la probabilidad es menor que 0,05 $P\text{-Value} = 1,70332\text{E-}11$; entonces existen diferencias estadísticamente para un nivel de significación del 95 %. En la Tabla 3 y el Gráfico 2 se muestra la diferencia en la variable de una especie con respecto a otra.

Tabla 3. Análisis de varianza para el punto de saturación de las fibras

Análisis del punto de saturación de las fibras					Test R. M.
Pino	Sample size	Average rank	STND skewness	STND Kurtosis	
1	32	37,34	2,78	2,04	X
2	29	39,31	1,87	-0,05	X
3	30	78,65	-0,57	-1,18	X
4	30	89,55	-2,44	0,12	X
			2,12	-2,61	
Test statistic = 53,1499 P-Value = 1,70332E-11					

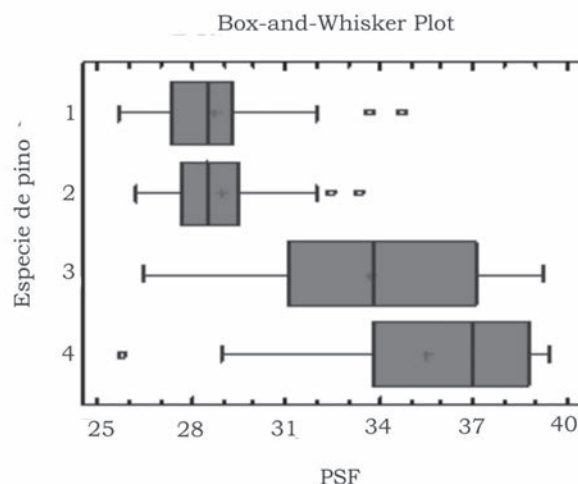


Gráfico 2. Comparación de las medianas para el PSF.

En el análisis de la variable contracción tangencial la probabilidad es mayor que 0,05 $P\text{-Value} = 0,079$; entonces no existe diferencias estadísticamente para esta variable para un nivel de significación del 95 %. En la *Tabla 4* y el *Gráfico 3* se observa la diferencia en la variable de una especie con respecto a otra.

Tabla 4. Análisis de varianza para la contracción tangencial

Análisis de la contracción tangencial					Test R. M.
Pino	Sample size	Average rank	STND skewness	STND Kurtosis	
1	32	65,28	0,16	-0,04	X
2	29	69,03	-0,01	-0,41	X
3	30	47,01	0,27	-0,66	X
4	30	62,56	-1,19	-0,24	X
			-0,077	-0,468	
Test statistic = 6,781 $P\text{-Value} = 0,079$					

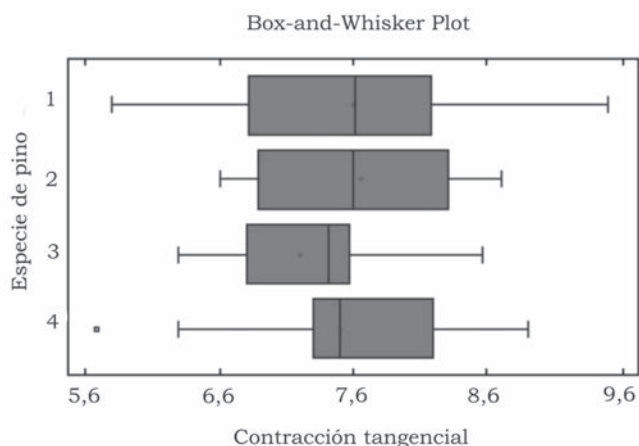


Gráfico 3. Comparación de las medianas para la contracción tangencial.

En general, en las variables estudiadas solo existen diferencias estadísticamente significativas en el punto de saturación de las fibras, la densidad y la contracción tangencial; no existe diferencia para un nivel de significación del 95 %.

Este resultado brinda la posibilidad de elaborar un programa de secado artificial y una tabla de contracción volumétrica para las cuatro especies de coníferas del país.

Programas de secado artificial

A partir del método establecido por Vignote y col. (2006) se selecciona el programa “complicado” para las coníferas cubanas, el cual implica en

espesores de la madera aserrada menores de 40 mm niveles de temperatura y de gradiente de secados máximos de 75 °C y 3,6, respectivamente. Para espesores de 40 a 75 mm se mantiene la temperatura máxima y se reduce a 3,1 el gradiente de secado. Esta selección se basa en las características físicas de los pinos del país y su relación T/R , que los diferencia por su alta densidad con gran parte de las coníferas que crecen en otras latitudes.

Esta temperatura y gradiente de secado corresponden a la fase final del secado, donde la humedad de la madera se encuentra entre los 15 y 8 %. En esta etapa es cuando la temperatura adquiere su nivel máximo, y el gradiente es el menor, atendiendo a que esta fase el agua sale con mayor dificultad.

Para completar el programa de secado, por cada 10 grados más de humedad de la madera se debe disminuir un 10 % de la temperatura en la cámara y aumentar un 5 % el gradiente de secado. Igualmente en el programa son importantes la humedad de equilibrio higroscópico y la humedad relativa, parámetros que se determina a partir de las tablas psicrométricas, las cuales aparecen en diferentes bibliografías sobre secado de la madera, como Fernández-Golfin y col. (1998), Álvarez y col. (1992), entre otros.

Tomando como ejemplo el secado de las piezas aserradas de 2,54 cm, la *Tabla 5* del programa de secado artificial, en una primera etapa, quedaría de la forma siguiente:

Tabla 5. Etapas del programa de secado

Humedad madera (%)	$T\text{ seca}$ (°C)	G	HEH	Hr (%)
60-40	46	4,6	13,1	74
40-35	58	4,2	9,6	63
35-30	61	4,1	8,6	58
30-25	64	3,9	7,7	53
25-20	68	3,8	6,6	48
20-15	71	3,7	5,4	39
15-8	75	3,6	4,2	32

Al analizar la etapa 1 (60-40 % de humedad en la madera), se obtuvo que el valor de los coeficientes para la determinación del tiempo de duración de la etapa es el siguiente:

α_1 : Valor 1 (ventilación mecánica de alta velocidad)
 α_2 : Valor 2 (dentro del rango del 71 al 40 % de humedad)

α_3 : Valor 0,36
 α_4 : Valor 1 (para 2,54 cm de grueso)
 α_5 : Valor 0,9 (cuidadoso)

$$T = (60-40)/(1 \cdot 2 \cdot 0,39 \cdot 1 \cdot 0,9) = 20/0,702 = 28,5 \text{ horas}$$

El resto de las etapas se calcula de la misma forma, quedando finalmente los programas para los tres gruesos siguientes:

2,54 cm						
Humedad madera (%)		T	Gradiente	HEH	Hr	Tiempo
Desde	Hasta	(°C)		(%)	(%)	(horas)
60	40	46	4,6	13,1	74	28,5
40	35	58	4,2	9,6	63	9,4
35	30	61	4,1	8,6	58	9,4
30	25	64	3,9	7,7	53	14,6
25	20	68	3,8	6,6	48	14,6
20	15	71	3,7	5,4	39	17,8
15	8	75	3,6	4,2	32	37,4
Acondicionado		75	3,6	2,2	15	10,7
Homogenizado		75	0,5	16,0	88	10,7
					Horas	153,1
					Días	6,4
5,0 cm						
Humedad madera (%)		T	Gradiente	HEH	Hr	Tiempo
Desde	Hasta	(°C)		(%)	(%)	(horas)
60	40	46	3,9	15,6	82	64,1
40	35	58	3,5	11,4	71	18,9
35	30	61	3,4	10,2	68	18,9
30	25	64	3,3	9,0	63	29,1
25	20	68	0,3	7,7	57	29,1
20	15	71	3,2	6,3	48	35,6
15	8	75	3,1	4,8	37	74,8
Acondicionado		75	3,1	3,6	18	21,4
Homogenizado		75	0,5	16,0	88	21,4
					Horas	313,2
					Días	13,1
7,5 cm						
Humedad madera (%)		T	Gradiente	HEH	Hr	Tiempo
Desde	Hasta	(°C)		(%)	(%)	(horas)
60	40	46	3,9	15,6	82	111,5
40	35	58	3,5	11,4	71	32,8
35	30	61	3,4	10,2	68	32,8

7,5 cm (cont.)						
Humedad madera (%)		T	Gradiente	HEH	Hr	Tiempo
Desde	Hasta	(°C)		(%)	(%)	(horas)
30	25	64	3,3	9,0	63	50,7
25	20	68	0,3	7,7	57	50,7
20	15	71	3,2	6,3	48	61,9
15	8	75	3,1	4,8	37	130,1
Acondicionado		75	3,1	3,6	18	37,2
Homogenizado		75	0,5	16,0	88	37,2
					Horas	544,7
					Días	22,7

El método igualmente define la forma de calcular las etapas de acondicionado y homogenizado.

Entre los resultados obtenidos por investigadores de gran experiencia en el secado de la madera, se destacan los trabajos realizados por Sydney y col. (1957), citado por Hoheisel (1989), el cual utiliza en el programa que propone para al pino macho temperatura seca máxima de 81 °C, en vez de 75 °C calculada para el programa de secado de la presente publicación.

Otro estudioso del tema, Fernández-Golfin (1998), recomienda un programa de secado artificial para el *Pinus silvestris*, especie conífera que se asemeja al pino cubano, utilizando una temperatura seca de 80 °C.

Ambos autores utilizan aproximadamente 80 °C, uno para el pino macho y el otro para el *P. silvestris*, cuestión en que no se coincide, atendiendo a la alta densidad del pino cubano.

Tablas de contracción volumétrica

Para la confección de las tablas de contracción volumétrica se utiliza una contracción tangencial del 7,6 % y un Punto de Saturación de las Fibras del 36 % de humedad en la madera.

De esta forma, la primera fila de la *Tabla 6* es el PSF, dividido en el mismo número de columnas. Existe una primera columna que es el grueso y ancho de las piezas aserradas.

Tabla 6. Tolerancia en grueso y ancho a la madera aserrada de las cuatro especies de coníferas del género *Pinus* por efecto de las contracciones del secado

Grueso (mm)	Humedad de la madera (%)																
	0	5	8	10	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	30
13	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2
16	1,2	1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,2
19	1,4	1,2	1,1	1	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,2
22	1,6	1,4	1,2	1,2	1,1	1	1	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,3
25	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1	1	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,3
28	2	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1	1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,3
32	2,3	2	1,8	1,7	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1	1	0,9	0,8	0,4
40	2,9	2,5	2,3	2,1	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1	0,5
45	3,3	2,8	2,5	2,4	2,2	2,1	2	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	0,5
50	3,6	3,1	2,8	2,6	2,4	2,3	2,2	2,1	2	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	0,6
56	4,1	3,5	3,2	2,9	2,7	2,6	2,5	2,4	2,3	2,1	2	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	0,7
60	4,4	3,7	3,4	3,1	2,9	2,8	2,7	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	1,9	1,8	1,7	1,6	0,7
63	4,6	3,9	3,6	3,3	3	2,9	2,8	2,7	2,5	2,4	2,3	2,2	2	1,9	1,8	1,6	0,8

66	4,8	4,1	3,7	3,5	3,2	3,1	2,9	2,8	2,7	2,5	2,4	2,3	2,1	2	1,9	1,7	0,8	0
70	5,1	4,4	3,9	3,7	3,4	3,2	3,1	3	2,8	2,7	2,5	2,4	2,3	2,1	2	1,8	0,8	0
75	5,4	4,7	4,2	3,9	3,6	3,5	3,3	3,2	3	2,9	2,7	2,6	2,4	2,3	2,1	2	0,9	0
80	5,8	5	4,5	4,2	3,9	3,7	3,5	3,4	3,2	3,1	2,9	2,7	2,6	2,4	2,3	2,1	1	0
86	6,2	5,4	4,8	4,5	4,2	4	3,8	3,6	3,5	3,3	3,1	2,9	2,8	2,6	2,4	2,3	1	0
90	6,5	5,6	5,1	4,7	4,4	4,2	4	3,8	3,6	3,4	3,3	3,1	2,9	2,7	2,5	2,4	1,1	0
96	7	6	5,4	5	4,6	4,4	4,3	4,1	3,9	3,7	3,5	3,3	3,1	2,9	2,7	2,5	1,2	0
100	7,3	6,2	5,6	5,2	4,8	4,6	4,4	4,2	4	3,8	3,6	3,4	3,2	3	2,8	2,6	1,2	0
110	8	6,9	6,2	5,8	5,3	5,1	4,9	4,7	4,4	4,2	4	3,8	3,5	3,3	3,1	2,9	1,3	0
116	8,4	7,2	6,5	6,1	5,6	5,4	5,1	4,9	4,7	4,4	4,2	4	3,7	3,5	3,3	3	1,4	0
120	8,7	7,5	6,8	6,3	5,8	5,6	5,3	5,1	4,8	4,6	4,4	4,1	3,9	3,6	3,4	3,1	1,5	0
125	9,1	7,8	7	6,5	6	5,8	5,5	5,3	5	4,8	4,5	4,3	4	3,8	3,5	3,3	1,5	0
130	9,4	8,1	7,3	6,8	6,3	6	5,8	5,5	5,2	5	4,7	4,5	4,2	3,9	3,7	3,4	1,6	0
140	10,2	8,7	7,9	7,3	6,8	6,5	6,2	5,9	5,6	5,4	5,1	4,8	4,5	4,2	3,9	3,7	1,7	0
150	10,9	9,4	8,5	7,9	7,3	6,9	6,6	6,3	6	5,7	5,4	5,1	4,8	4,5	4,2	3,9	1,8	0
160	11,6	10	9	8,4	7,7	7,4	7,1	6,8	6,4	6,1	5,8	5,5	5,2	4,8	4,5	4,2	1,9	0
165	12	10,3	9,3	8,6	8	7,6	7,3	7	6,6	6,3	6	5,6	5,3	5	4,7	4,3	2	0
170	12,3	10,6	9,6	8,9	8,2	7,9	7,5	7,2	6,8	6,5	6,2	5,8	5,5	5,1	4,8	4,5	2,1	0
180	13,1	11,2	10,2	9,4	8,7	8,3	8	7,6	7,3	6,9	6,5	6,2	5,8	5,4	5,1	4,7	2,2	0
190	13,8	11,9	10,7	9,9	9,2	8,8	8,4	8	7,7	7,3	6,9	6,5	6,1	5,7	5,4	5	2,3	0
200	14,5	12,5	11,3	10,5	9,7	9,3	8,9	8,5	8,1	7,7	7,3	6,8	6,4	6	5,6	5,2	2,4	0
210	15,2	13,1	11,8	11	10,2	9,7	9,3	8,9	8,5	8	7,6	7,2	6,8	6,3	5,9	5,5	2,5	0
220	16	13,7	12,4	11,5	10,6	10,2	9,7	9,3	8,9	8,4	8	7,5	7,1	6,6	6,2	5,8	2,7	0
230	16,7	14,4	13	12	11,1	10,7	10,2	9,7	9,3	8,8	8,3	7,9	7,4	6,9	6,5	6	2,8	0
240	17,4	15	13,5	12,6	11,6	11,1	10,6	10,2	9,7	9,2	8,7	8,2	7,7	7,3	6,8	6,3	2,9	0
250	18,1	15,6	14,1	13,1	12,1	11,6	11,1	10,6	10,1	9,6	9,1	8,6	8,1	7,6	7	6,5	3	0
254	18,4	15,9	14,3	13,3	12,3	11,8	11,3	10,7	10,2	9,7	9,2	8,7	8,2	7,7	7,2	6,6	3,1	0
260	18,9	16,2	14,7	13,6	12,6	12	11,5	11	10,5	9,9	9,4	8,9	8,4	7,9	7,3	6,8	3,1	0
270	19,6	16,9	15,2	14,1	13,1	12,5	12	11,4	10,9	10,3	9,8	9,2	8,7	8,2	7,6	7,1	3,3	0
280	20,3	17,5	15,8	14,7	13,5	13	12,4	11,8	11,3	10,7	10,2	9,6	9	8,5	7,9	7,3	3,4	0
290	21	18,1	16,4	15,2	14	13,4	12,8	12,3	11,7	11,1	10,5	9,9	9,3	8,8	8,2	7,6	3,5	0
300	21,8	18,7	16,9	15,7	14,5	13,9	13,3	12,7	12,1	11,5	10,9	10,3	9,7	9,1	8,5	7,9	3,6	0

Si se toma como ejemplo la primera fila que es para el grueso de 13 mm, este valor se multiplica por el valor de la contracción tangencial, $13 \times 0,076 = 0,988$, valor total de reducción del grueso de la pieza en estado anhidro. Este valor se divide entre el valor del PSF, 36, y se obtiene lo que va reduciendo en grueso la madera hasta llegar al PSF, donde como se conoce las contracciones no existen.

CONCLUSIONES

- En las variables estudiadas solo existen diferencias estadísticamente significativas en el punto de saturación de las fibras, no existiendo diferencia para un nivel de significación del 95 % para la densidad y la contracción tangencial, por lo que este resultado define la posibilidad de elaborar un programa de secado artificial para los tres gruesos de madera aserrada y una tabla para la contracción volumétrica en las cuatro especies de coníferas del país.
- Las tablas de secado artificial propuestas permiten establecer una regulación del proceso de secado en función del tiempo y la humedad en la madera. Para el primer caso en cada uno de los programas se incluye el tiempo de cada etapa y en función de la humedad en la madera, cuando igualmente se incluye en los programas el gradiente de secado.

- La tabla de contracciones en la madera para las cuatro especies de pino cubanos posibilita conocer en qué medida se debe sobredimensionar en grueso y ancho a la madera aserrada durante su procesamiento industrial para obtener después del secado las dimensiones demandadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez Noves, H., Fernandez-Golfin, J. I. 1992. Fundamentos teóricos del secado de la madera. Madrid. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.
- Delgado Méndez, M., *et al.* 2019. El mejoramiento genético forestal en Cuba. La Habana. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. 235 p.
- Fernández-Golfin, J. I., Álvarez, H. 1998. Manual de secado de la madera. Madrid. Revista AITIM (ES) 192:127-130
- García, J. M., Zamora, J. L. 2018. Estudio de Factibilidad al Programa de Desarrollo Forestal hasta 2030. La Habana. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. 173 p.
- Hoheisel, H. 1989. Manual del Grupo Andino para el secado de maderas. Lima. Junta del Acuerdo de Cartagena-Comunidad Económica Europea. 280 p.
- Ibáñez, A., Hernández, C., García, J.M., Sosa, M. 2001. Propiedades y usos de 50 especies maderables que crecen en Cuba. La Habana. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. 120 p.
- Ibáñez, A., García, J. M., Sosa, C. 1997. Pérdida en las dimensiones de la madera aserrada de tres especies de coníferas cubanas por las contracciones durante el secado. Publicado en las Actas del XI Congreso Forestal Mundial, 13-22 Octubre, Natalia, Turquía.
- Sydney, R., Kozlik, C. J., Bois, P. J., Wengert, E. M. 1957. Horario de secado para maderas comerciales de clima templado y los trópicos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio Forestal. Laboratorio de Productos Forestales. Informe Técnico General FPL-GTR-57.
- Vignote, S., Martínez, I. 2006. Tecnología de la Madera. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa. p. 325-332.

RESEÑA CURRICULAR

Autor principal: Juan M. García Delgado

Ingeniero Forestal, Doctor en Ciencias Forestales, Investigador Titular, Doctor en Ciencias Técnicas Forestales en el Instituto Tecnológico de Voronezh en Rusia, estuvo vinculado a las especialidades de aprovechamiento e industria forestal con expertos de la FAO y el CAME. Cuenta con 49 años de experiencia laboral. Ha dirigido proyectos de investigación. Fue miembro del Consejo Científico “Uso Integral de la Madera” en el CAME y del Tribunal Permanente de la Universidad de Pinar del Río. Ha realizado asesoría técnica en países como la República Popular del Congo, Angola y República Dominicana. Tiene una amplia producción científica y participación en eventos nacionales e internacionales.