

Universidad de la República  
FACULTAD DE AGRONOMIA

21 MAR 1996



**TR**

**EVALUACION DE  
LAS PROPIEDADES  
FISICAS Y  
MECANICAS DE LA  
MADERA  
DE UN ENSAYO  
DE ORIGENES  
DE *PINUS TAEDA L.***

**ESTELA BURMIDAD  
ROSANA GRINWALD  
JOSÉ GARCÍA DE LEÓN**

**TESIS RESUMEN  
Nº 9**

**MONTEVIDEO**

**URUGUAY**

**FACULTAD DE AGRONOMIA  
DEPARTAMENTO DE DOCUMENTACION Y BIBLIOTECAS**

Las solicitudes de adquisición y de intercambio con esta publicación deben dirigirse al Departamento de Documentación, Facultad de Agronomía, Garzón 780, Montevideo-URUGUAY

**Comisión de Publicaciones:**

Ing. Agr. Osvaldo del Puerto (egresado)

Ing. Agr. Hugo Petrocelli (docente)

Ing. Agr. Héctor González (docente)

Ing. Agr. Virginia Rossi (docente)

Bach. Marcelo Nougue (estudiante)

Bach. Mario Lema (estudiante)

Bach. Gustavo Uriarte (Editor)

Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de un ensayo de orígenes de *Pinus taeda* L. / E. Bumidad, R. Grinwald,. -- Montevideo: Facultad de Agronomía, 1991. -- 20 p.-- (Tesis Resumen; 9)

MADERA - PROPIEDADES FISICAS  
MADERA - PROPIEDADES MECANICAS  
PINUS TAEDA

CDU 643.0.8

## EVALUACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE LA MADERA DE UN ENSAYO DE ORIGENES DE *PINUS TAEDA L.*\*

Estela Burmidad\*, Rosana Grinwald\*\*, José García De León \*\*\*

### AGRADECIMIENTOS

Muchas fueron las personas que de una manera u otra y en forma espontánea, nos brindaron su apoyo para que fuera posible la realización de este trabajo.

A todos ellos nuestro más cálido agradecimiento.

-Instituto de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería.

-Arq. Nelly Tarocco (Colaboradora permanente)..

-Ing. Agr. Pedro Senyszyn.

-Ing. Agr. Rinaldo Tuset (Agradecimiento especial).

### RESUMEN

Se realizó el estudio de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de 11 orígenes de *Pinus taeda L.*, procedentes de la zona occidental del área de distribución natural.

El material utilizado es el resultado de un ensayo instalado en el año 1966 en la Estación Experimental de "Bañado de Medina", Facultad de Agronomía, Uruguay. Este material es producto de un manejo que se considera cercano a lo correcto y aconsejable con un turno de corta mínimo para el país (20 años).

Para la realización de los ensayos se confeccionaron probetas a partir de la tabla central de 132 árboles (6 bloques, 11 orígenes, 2 árboles por bloque y por parcela), tomadas a 1,30 m del suelo.

Se efectuó el estudio de las propiedades: Físicas, contracción longitudinal ( $\bar{x} = 0,1971\%$ ); contracción radial ( $\bar{x} = 2,249\%$ ); contracción tangencial ( $\bar{x} = 2,910\%$ ); contracción volumétrica ( $\bar{x} = 5,449\%$ ); infradensidad ( $\bar{x} = 0,3956 \text{ g/cm}^3$ ). Mecánicas, flexión estática ( $\bar{x} = 1138,1 \text{ kg/cm}^2$ ); compresión paralela ( $\bar{x} = 309,78 \text{ kg/cm}^2$ ); compresión normal ( $\bar{x} = 62,66 \text{ kg/cm}^2$ ); hendimiento ( $\bar{x} = 11,97 \text{ kg/cm}$ ); doble hendimiento ( $\bar{x} = 20,36 \text{ kg/cm}^2$ ); flexión dinámica ( $\bar{x} = 2,405 \text{ kg/cm}$ ); corte paralelo ( $\bar{x} = 131,25 \text{ kg/cm}^2$ ); dureza Janka axial ( $\bar{x} = 375,29 \text{ kg/cm}^2$ ); tangencial ( $\bar{x} = 286,89 \text{ kg/cm}^2$ ); radial ( $\bar{x} = 256,27 \text{ kg/cm}^2$ ).

---

Recibido el

Aprobado el

\*Trabajo realizado como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo.

\*\*Estudiante en trabajo de Tesis.

\*\*\*Ing. Agr. D. Phil. Prof. Adjunto de Mejoramiento Genético Forestal. Director de Tesis.

El análisis de los valores encontrados mostró una gran variabilidad individual.

*P. taeda* posee características que le hacen de buena aptitud para aserrado y debobinado, pudiéndose utilizar en carpintería. Presenta una madera blanda, liviana, de contracciones reducidas.

## SUMMARY

A trial to determine the physical and mechanical properties of 11 origins of *Pinus taeda* L. was made from the western area of the natural distribution range.

The wood samples were from a provenance trial established in 1966 at the "Estación Experimental de Bañado de Medina", Facultad de Agronomía, Uruguay. It is the result of a thinning considered nearly to correct and advisable with a turn of rotation of 20 years.

The samples used in the test were obtained from the central part of each of 132 trees (6 blocks, 11 origins, 2 trees/origins (parcela) at breast height.

The results of the properties studied were the following: *Physical*: longitudinal shrinkage ( $\bar{x} = 0,1971\%$ ); radial shrinkage ( $\bar{x} = 2,249\%$ ); tangential shrinkage ( $\bar{x} = 2,910\%$ ); volumetric shrinkage ( $\bar{x} = 5,449\%$ ); infradensity ( $\bar{x} = 0,3956 \text{ g/cm}^3$ ).

*Mechanical*: static bending ( $x = 1138,1 \text{ kg/cm}^2$ ); compression parallel ( $x = 309,78 \text{ kg/cm}^2$ ); compression normal ( $x = 62,66 \text{ kg/cm}^2$ ); cleavaje ( $x = 11,97 \text{ kg/cm}$ ); cleavaje radial ( $x = 20,36 \text{ kg/cm}^2$ ); impact ( $x = 2,405 \text{ kgm}$ ); shear parallel to grain ( $x = 131,25 \text{ kg/cm}^2$ ); Janka hardness: axial ( $x = 375,29 \text{ kg/cm}^2$ ); tangential ( $286,89 \text{ kg/cm}^2$ ); radial ( $x = 256,27 \text{ kg/cm}^2$ ).

The analysis of the data showed a great individual variability.

*P. taeda* shows characteristics that made it apt for sawn, veneer and for carpentry. It is a wood is soft, light, with reduced contractions.

## INTRODUCCION

*Pinus taeda* L. es en Uruguay una de las especies forestales introducidas que más se ha plantado en las últimas dos décadas. La excelente adaptabilidad y comportamiento que ha demostrado tener, la ubican como una de las especies para el futuro desarrollo forestal nacional.

El presente trabajo intenta ser una contribución al conocimiento de la especie respecto a sus propiedades físico-mecánicas.

El Departamento Forestal de la Facultad de Agronomía, se ha planteado como línea de investigación la productividad de especies forestales exóticas y el mejoramiento genético forestal. Esta línea incluye pruebas de comportamiento de especies y poblaciones en sitios de aptitud forestal.

Se ha planteado como parte de la mencionada línea de investigación el estudio de la calidad de la madera de 11 orígenes de *P. taeda* de la zona occidental de distribución natural.

Los objetivos del presente trabajo son:

-Conocer el comportamiento de un material, producto de un manejo que se considera cercano a lo correcto y aconsejable, con un turno de corta mínimo para el país, respecto a sus propiedades físicas y mecánicas.

-Clasificar la madera de 11 orígenes de *P. taeda* de acuerdo a sus propiedades físico-mecánicas, y establecer recomendaciones respecto a su aptitud tecnológica.

- Determinar el valor promedio de los orígenes en estudio.
- Evaluar la variación dentro y entre orígenes.
- Determinar la correlación entre el peso específico y las propiedades mecánicas.
- Determinar de qué modo resultaría más conveniente dirigir estudios posteriores acerca de la calidad de la madera y mejoramiento genético de la misma.

## MATERIALES Y METODOS

### Materiales de Campo

La masa en estudio corresponde a un ensayo de orígenes de *P. taeda* instalado en la Estación Experimental de Bañado de Medina, Cerro Largo, Uruguay. Compara 11 orígenes diferentes de *P. taeda*: 3 de Texas, 6 de Lousiana y 2 de Arkansas.

Se eligieron aquellas procedencias cuyas condiciones ecológicas y geográficas son similares a las del Uruguay, se eliminaron, a priori del ensayo, los orígenes netamente diferentes en estos caracteres. Las procedencias seleccionadas para la realización del ensayo fueron las siguientes:

**Cuadro 1. Datos climáticos y período de crecimiento correspondiente a las 11 procedencias de la zona occidental del sudeste de los Estados Unidos (\*)**

Nº	Procedencia Localidad	Estado	Lat.	Long.	Julio	Enero	Mín	Lluvias	Período
								Anuales (mm)	de creci- miento (días)
1	Pike	Arkansas	34°	93°30	6°5	27	-26	1220	220
2	Ashley	Arkansas	33°20	91°56	7°5	27.5	-25.5	1300	227
3	Webster	Louisiana	32°40	93°15	8°5	28	-26.5	1250	230
4	De Soto	Louisiana	31°56	93°51	8°5	27.5	-21	1160	241
5	Winn	Louisiana	31°54	92°41	10°	28.5	-16	1310	236
6	Natchito	Louisiana	31°40	93°50	91	28	-16	1270	232
7	Rapides	Louisiana	31°11	92°41	10°5	28	-16	1400	255
8	Bearegard	Louisiana	30°30	93°40	11°5	28	-13	1380	258
9	Calcasieu	Louisiana	30°14	93°30	11°5	28	-16	1440	265
10	Bastrop	Texas	30°	97°20	11°	29	-18	930	263

(\*) Comunicación personal de los Ings. Agrs. J. Krall y J. García de León

La siembra en vivero se efectuó en los meses de julio y agosto de 1965 y la instalación del ensayo se realizó con plantas a raíz desnuda 1-0, entre el 14 y 23 de junio de 1966.

### **Diseño del ensayo**

El diseño es en "bloques completos al azar" con 6 repeticiones (bloques) y en cada repetición 11 tratamientos (orígenes).

En cada parcela (origen) se plantaron 25 individuos. El esparcimiento inicial fue de 2,5 x 2,5 m correspondiente a una densidad de 1600 árboles por há. El ensayo ocupa una superficie de aproximadamente 1,3 há.

### **Geología y Suelos**

Las litologías del área se encuentran representadas por sedimentos correspondientes al pérmico superior asociándose con la formación Vaguarí.

Los suelos corresponden a la Asociación Los Mimbres, Brunosol Subéutrico, Lúvico Arenoso-franco.

### **Climatología del área**

---

#### **Cuadro 2. Características climáticas del sitio de plantación (\*\*)**

- Lluvia promedio anual	1200 mm/m <sup>2</sup>
- Total medio acumulado - verano	300 mm/m <sup>2</sup>
- Total medio acumulado - invierno	250 mm/m <sup>2</sup>
- Fecha promedio última helada	1°/IX
- Fecha promedio primer helada	1°/VI
- Temperatura promedio anual	15.5° C
- Temperatura promedio julio	12.0° C
- Temperatura promedio enero	24.0° C

(\*\*) *Estación Experimental de Bañado de Medina, Facultad de Agronomía; datos promedio de 10 años*

---

#### **Antecedentes de la masa**

- Pérdidas iniciales: 4,5% (70 árboles por há.).
- Limpieza a los 5 años: 7,5% (120 árboles por há.).
- Primer raleo a los 6 años, 1973: 20%.
- Densidad después del primer raleo: 1090 árboles por há.

- Primera poda a los 6 años, 1973, a una altura media de 1,90 m.
- Segundo raleo a los 8 años, 1974: 20%.
- Densidad después del segundo raleo: 640 árboles por há.
- Tercer raleo a los 10 años, 1976: 12%.
- Densidad después del tercer raleo: 440 árboles por há.
- Cuarto raleo a los 12 años; 1978: 12%.
- Densidad después del cuarto raleo: 320 árboles por há.
- Quinto raleo a los 20 años, en setiembre de 1986. De los árboles raleados se extrajeron las muestras para el presente trabajo.

Los raleos se aplicaron en forma pareja e intensa para todos los orígenes con la finalidad de permitir expresar la máxima tasa de crecimiento de cada población.

## TRABAJO DE LABORATORIO

Las normas de ensayo más conocidas y utilizadas para determinar las propiedades fisicomecánicas de la madera son: la norma AFNOR, de la Association Francaise de Normalisation; la norma ASTM, de la American Society for Testing Materials; la norma BSI de la British Standard Institution y la norma DIN, de origen alemán.

Las propiedades estudiadas fueron el resultado de ensayos sobre probetas de dimensiones conocidas, en madera sana, clara y de grano derecho, desprovistas de defectos tales como nudos, grano cruzado, grietas y rajaduras.

Las probetas fueron confeccionadas según las normas correspondientes a cada ensayo, teniendo especial cuidado en el acabado o terminación de las mismas.

### 1. PROPIEDADES FISICAS

**a) Peso específico.** Para su determinación se utilizó la norma UNIT 237-70.

A partir de las probetas se determinó la humedad según la Norma UNIT 223-70.

Se realizaron los siguientes cálculos:

- Peso específico aparente.
- Peso específico aparente corriente.
- Peso específico aparente anhidro.
- Peso específico aparente básico.
- Infradensidad.
- Contenido de humedad.

**b) Contracción.** Las probetas preparadas para este ensayo consisten en prismas rectos cuadrangulares de 6 cm de longitud, con base cuadrada de 2 cm de lado.

No fue posible confeccionar probetas de las dimensiones especificadas según la norma panamericana COPANT 462 (prismas rectos de 5 x 5 x 10 cm), por no contar con viguetas de dicha escuadría.

Se realizó la determinación de la contracción longitudinal (L), radial (RD) y tangencial (TG); y el cálculo de la contracción volumétrica total.

## 2. PROPIEDADES MECANICAS

**a) Flexión estática.** Para la realización de este ensayo se confeccionaron probetas según la norma AFNOR NF 51-008 y B 51-002.

A partir de las cargas medidas se realizó el cálculo de la resistencia a la flexión (resist), y las gráficas obtenidas permitieron determinar:

- cota de rigidez
- módulo de rotura
- módulo de elasticidad
- cota de flexión (cota flex).

**b) Compresión paralela.** En este ensayo se utilizaron probetas de 2 x 2 x 3 cm y según la bibliografía consultada no parece que se obtengan grandes diferencias al adoptar diferentes tamaños de probeta.

A partir de los valores de carga medidos se determinó:

- Cota estática de calidad (cota est.).
- Cota específica de calidad (cota esp.).
- Resistencia a la compresión (resist.).

**c) Compresión perpendicular al grano.** La dimensión de la probeta utilizada fue de 2 x 2 x 3 cm y se realizó el cálculo de:

- Esfuerzo unitario (resist).
- Carga elástica de deformación (car elast.).

**d) Hendimiento.** Las probetas fueron confeccionadas según la norma AFNOR 851-011.

Se realizaron los siguientes cálculos:

- Resistencia al hendimiento (resist.).
- Cota de hendimiento (cota hend.).

**e) Doble hendimiento.** Su determinación se realizó empleando probetas confeccionadas según la norma AFNOR 851-010.

A partir de las mediciones de sección y cargas máximas obtenidas se efectuaron los cálculos de:

- Resistencia al hendimiento (resist.).
- Cota de adherencia (cota adh.).

**f) Impacto.** Para este ensayo se siguió la norma francesa AFNOR 851-009, calculándose posteriormente:

- Coeficiente de resistencia (coef. unit.).
- Cota dinámica (cota din.).

**g) Corte paralelo.** En este ensayo no se pudo contar con las escuadrías recomendadas por la norma AFNOR B51-012 y se confeccionaron probetas de menores dimensiones: 2,5 x 1,0 x 4,5 cm. Se calculó:

- Resistencia al corte (resist.).
- Cota de cizallamiento (cota circ.).

**h) Dureza Janka.** Para la realización de este ensayo se confeccionaron probetas prismáticas según la norma francesa AFNOR B51-013.

Las probetas fueron sometidas a la acción de la carga en las caras tangencial, axial y radial. Los valores de carga necesaria para la penetración de la pieza metálica se expresan directamente en kilográmetros de fuerza.

### **3. CONTENIDO DE HUMEDAD POR CONDUCTIVIDAD.**

Estas pruebas se realizaron con la finalidad de determinar la variación del contenido de humedad entre y dentro de las tablas.

El procedimiento de determinación consiste en introducir dos electrodos metálicos en el interior de la madera hasta una profundidad de 1/5 a 1/4 del espesor de la misma y, mediante sendos conductores, unirlos con el aparato de medida.

Los valores registrados mostraron una variación del contenido de humedad entre un 10 y 14%.

**Tabla1.**

FLEXION ESTATICA				COMPRESION PARALELA					
RESIST Kg/cm <sup>2</sup>		COTA FLEX		RESIST Kg/cm <sup>2</sup>		COTA ESP		COTA EST.	
*Or.	$\bar{x}$	Or.	$\bar{x}$	Or.	$\bar{x}$	Or.	$\bar{x}$	Or.	$\bar{x}$
8	1024.09	10	24.48	9	298.60	10	14.47	10	6.81
6	1075.57	8	24.82	7	299.93	7	15.23	5	6.88
10	1091.52	6	25.03	5	301.37	1	15.24	7	6.89
9	1119.02	7	25.85	10	301.97	5	15.58	11	7.03
7	1141.27	4	26.08	11	302.23	11	15.98	1	7.13
4	1148.21	1	26.14	8	308.21	4	16.07	4	7.13
11	1151.95	5	26.61	6	310.90	6	16.15	9	7.28
1	1164.63	11	26.79	4	313.86	2	16.21	6	7.28
5	1166.83	9	27.19	3	318.08	3	16.22	3	7.34
3	1207.37	2	27.52	1	318.40	9	17.23	8	7.54
2	1228.48	3	27.56	2	334.08	8	17.95	2	7.61
$\bar{x}$	1138.087		26.188		309.785		16.030		7.170
Var	51334.790		33.888		2995.274		15.957		1.688
ds	226.572		5.821		54.729		3.995		1.299
cv %	19.908		22.229		17.667		24.920		18.111

(\*) Or - Origenes (Cuadro 1)

COMPRESION NORMAL				HENDIMIENTO				DOBLE HEND.	
RESIST Kg/cm <sup>2</sup>		CAR. ELAST.		RESIST Kg/cm <sup>2</sup>		COTA HEND.		RESIST Kg/cm <sup>2</sup>	
--- Or.	$\bar{x}$	Or.	$\bar{x}$	Or.	$\bar{x}$	Or.	$\bar{x}$	Or.	$\bar{x}$ ---
8	59.65	8	54.10	5	11.34	7	0.2506	6	17.61
2	60.25	9	56.63	7	11.39	1	0.2511	7	19.33
7	61.45	5	59.85	6	11.44	5	0.2575	11	19.44
5	61.97	11	60.34	1	11.64	6	0.2585	4	19.58
11	62.21	4	60.40	11	11.77	11	0.2680	8	20.01
10	62.78	6	62.40	9	11.94	3	0.2699	5	20.27
6	63.21	3	65.83	8	11.97	10	0.2706	1	21.67
9	63.55	2	68.19	3	12.22	2	0.2806	10	21.69
1	63.80	1	68.54	10	12.46	9	0.2848	3	21.71
3	64.89	7	68.76	4	12.67	4	0.2865	2	22.13
4	65.47	10	69.20	2	12.87	8	0.2868	9	22.14
$\bar{x}$	62.657		63.113		11.974		0.26953		20.357
Var	118.592		205.525		3.595		2.096 x 10 <sup>-3</sup>		18.219
ds	10.890		14.336		1.896		0.0457		4.268
cv %	17.380		22.715		15.835		16.986		20.967

DOBLE HEND.		FLEXION		DINAMICA				CORTE PARALELO			
COTA ADH		TRABAJO Kgm		COEF. UNIT.		COTA DIN.		RESIST Kg/cm <sup>2</sup>		COTA CIZ	
---Or.	$\bar{x}$	Or.	$\bar{x}$	Or.	$\bar{x}$	Or.	$\bar{x}$	Or.	$\bar{x}$	Or.	$\bar{x}$ ---
6	0.3950	5	1.87	5	0.2847	10	1.812	11	118.41	11	2.76
7	0.4195	10	2.12	10	0.3142	5	2.007	3	126.12	10	2.79
5	0.4231	11	2.23	11	0.3340	3	2.221	10	126.74	3	2.83
2	0.4421	3	2.32	3	0.3572	7	2.301	7	126.76	7	2.83
4	0.4471	7	2.42	7	0.3655	2	2.351	8	128.04	2	2.97
11	0.4483	4	2.52	4	0.3822	6	2.497	6	132.21	1	3.01
10	0.4701	6	2.53	2	0.3831	11	2.527	2	134.29	6	3.03
1	0.4725	2	2.56	6	0.3857	1	2.546	1	137.62	8	3.08
8	0.4794	8	2.58	9	0.3922	4	2.685	9	137.71	5	3.14
3	0.4808	9	2.60	8	0.3975	9	2.923	4	137.72	4	3.15
9	0.5326	1	2.71	1	0.4174	8	3.068	5	138.15	9	3.27
$\bar{x}$	0.4555		2.405		0.3654		2.448		131.253		2.987
Var	0.1423		0.0140		0.0230		1.360		403.863		0.2470
ds	0.1193		0.1190		0.1519		1.166		20.096		0.4970
cv %	26.184		26.097		41.586		47.632		15.311		16.637

---

DUREZA JANKA					
AXIAL kg/cm <sup>2</sup>		RADIAL kg/cm <sup>2</sup>		TANGENCIAL kg/cm <sup>2</sup>	
---Or.	$\bar{x}$	Or.	$\bar{x}$	Or.	$\bar{x}$ ---
7	337.67	10	227.42	5	238.25
10	359.17	6	227.67	3	266.83
6	367.25	2	237.67	7	275.92
5	368.67	8	247.25	11	280.83
3	371.25	1	248.00	6	283.25
11	375.08	7	259.00	8	286.50
9	381.42	5	264.17	10	291.92
1	382.50	9	269.33	1	292.83
8	385.67	4	270.83	2	300.00
2	390.75	3	283.00	9	312.33
4	408.83	11	284.67	4	327.17
$\bar{x}$	375.296		256.273		286.894
Var	3818.540		3826.570		2624.370
ds	61.794		61.859		51.229
cv %	16.465		24.138		71.856

CONTRACCION LONGITUDINAL %		CONTRACCION LONGITUDINAL %		CONTRACCION RADIAL %		CONTRACCION TANGENCIAL %	
--- Or.	$\bar{x}$	Or.	$\bar{x}$	Or.	$\bar{x}$	Or.	$\bar{x}$ ---
2	0.14	6	1.23	9	2.07	11	2.78
5	0.14	7	1.67	6	2.14	9	2.80
9	0.17	8	1.93	4	2.16	2	2.80
1	0.18	3	1.94	10	2.91	8	2.83
6	0.18	11	2.08	5	2.21	5	2.85
11	0.19	10	2.39	7	2.22	3	2.85
7	0.20	9	2.84	3	2.26	10	2.95
8	0.21	4	2.76	8	2.33	6	2.95
10	0.23	1	2.95	11	2.36	4	3.00
4	0.25	2	2.96	2	2.37	7	3.03
3	0.27	5	3.11	1	2.42	1	3.09
$\bar{x}$	0.1963		2.315		2.248		2.902
Var	0.0245		4.453		0.1270		0.7295
ds	0.1565		2.110		0.3567		0.5286
cv %	79.598		91.153		15.867		18.212

CONTRACCION TG + RD		CONTRACCION VOLUMETRICA %		CONTRACCION TG + RD	
--- Or.	$\bar{x}$	Or.	$\bar{x}$	Or.	$\bar{x}$ ---
9	4.08	9	5.20	2	1.20
5	5.07	6	5.23	11	1.21
6	5.09	3	5.34	8	1.25
3	5.11	8	5.39	3	1.27
10	5.14	11	5.41	1	1.28
11	5.14	10	5.45	5	1.30
4	5.16	7	5.45	10	1.36
8	5.16	5	5.47	7	1.38
2	5.16	2	5.52	6	1.39
7	5.25	4	5.57	4	1.41
1	5.51	1	5.92	11	1.42
$\bar{x}$	5.152		5.450		1.315
Var	0.4824		0.5628		0.0891
ds	0.6946		0.7538		0.2985
cv %	13.482		13.832		22.689

INFRADENSIDAD g/cm <sup>3</sup>		PE aparente g/cm <sup>3</sup>		PE aparente corriente g/cm		PE aparente básico g/cm		PE aparente anhidro 12% g/cm	
--- Or.	$\bar{x}$	Or.	$\bar{x}$	Or.	$\bar{x}$	Or.	$\bar{x}$	Or.	$\bar{x}$ ---
8	0.3649	8	0.4236	8	0.8303	8	0.3779	8	0.3968
9	0.3717	9	0.4320	9	0.3885	9	0.3860	9	0.4058
11	0.3782	5	0.4448	5	0.9379	5	0.3953	5	0.4159
4	0.8309	11	0.4462	4	0.4003	4	0.3978	4	0.4186
5	0.3833	4	0.4467	11	0.4006	11	0.3981	11	0.4189
6	0.3955	6	0.4544	6	0.4104	6	0.4078	6	0.4297
7	0.4086	3	0.4653	3	0.4195	3	0.4167	3	0.4398
2	0.0496	7	0.4741	1	0.4282	1	0.4252	1	0.4493
3	0.4105	2	0.4749	7	0.4284	7	0.4254	7	0.4495
1	0.4146	1	0.4749	2	0.4311	2	0.4281	2	0.4524
10	0.4343	10	0.4783	10	0.4338	10	0.4309	10	0.4553
$\bar{x}$	0.9356		0.4555		0.4108		0.4080		0.4302
Var	2.353 x 10 <sup>-3</sup>		2.539 x 10 <sup>-3</sup>		2.215 x 10 <sup>-3</sup>		2.156 x 10 <sup>-3</sup>		2.687 x 10 <sup>-3</sup>
ds	0.0485		0.0501		0.0471		0.0464		0.0518
cv	12.262		11.052		11.473		11.377		12.051

**Tabla 2.**

(\*) - significativo al 5% (NS) - no significativo G.L. - Grados de libertad COMP. de VAR. - Componentes de varianza  
 (\*\*) - significativo al 1% F. de VAR. - Fuente de variación C.M. (sig) - Cuadrados medios (significación)

F. de VAR.	G.L.	FLEXION ESTATICA		COMP. PARALELA		COMP. NORMAL		HENDIMIENTO		DOBLE HEND.	
		C.M. (sig.)	COMP. de VAR. %	C.M. (sig.)	COMP. de VAR. %	C.M. (sig.)	COMP. de VAR. %	C.M. (sig.)	COMP. de VAR. %	C.M. (sig.)	COMP. de VAR. %
Bloques (B)	5	177735,51 (*)	11,45	11342,78 (*)	11,99	192,26 (NS)	1,87	3,30 (NS)	0,00	8,50 (NS)	0,00
Orígenes (O)	10	41092,86 (NS)	0,00	1398,08 (NS)	0,00	38,76 (NS)	0,00	3,32 (NS)	0,01	25,89 (NS)	2,78
B-O	50	51866,11 (NS)	8,37	2688,05 (NS)	0,00	104,73 (NS)	0,00	4,09 (NS)	10,97	16,32 (NS)	0,00
ARB O y B	66	42908,27 (NS)	80,18	2837,63 (NS)	88,01	135,61 (NS)	98,13	3,28 (NS)	88,92	19,23 (NS)	97,22
TOTAL	%		100		100		100		100		100

DUREZA JANKA									
FLEXION DINAMICA		CORTE PARALELO		AXIAL		RADIAL		TANGENCIAL	
C.M. (sig.)	COMP. de VAR. %	C.M. (sig.)	COMP. de VAR. %	C.M. (sig.)	COMP. de VAR. %	C.M. (sig.)	COMP. de VAR. %	C.M. (sig.)	COMP. de VAR. %
1,87 (NS)	4,05	1214,63 (*)	8,710	13339,00 (**)	11,85	4291,87 (NS)	0,15	5715,99 (*)	6,406
0,74 (NS)	0,00	508,66 (NS)	2,38	4034,06 (NS)	3,02	4943,90 (NS)	1,58	6528,78 (**)	14,170
0,99 (NS)	1,66	326,82 (NS)	0,00	4520,05 (*)	23,98	3134,96 (NS)	0,00	2632,61 (NS)	15,086
0,96 (NS)	94,29	384,93 (*)	88,91	2533,20 (NS)	61,15	4145,97 (NS)	98,27	1792,18 (NS)	64,338
TOTAL	100,00		100		100		100		100

F. de VAR.	G.L.	CONTRAC. LONGIT.		CONTRAC. LONGIT.		INFRADENSIDAD		C. LONGIT.		CONTR. RAD.	
		C.M.	COMP. de VAR. %	C.M.	COMP. de VAR. %	C.M.	COMP. de VAR. %	C.M.	COMP. de VAR. %	C.M.	COMP. de VAR. %
Bloques	5	0,07 (**)	9,04	5,23 (*)	8,90	0,00062 (NS)	0,000	0,35 (**)	12,13	0,30 (*)	6,15
Orígenes	10	0,02 (NS)	0,46	1,91 (NS)	1,36	0,00556 (*)	12,329	0,10 (NS)	1,00	0,14 (NS)	1,35
B-O	50	0,02 (NS)	7,45	1,70 (NS)	2,45	0,00256 (NS)	14,321	0,06 (NS)	0,00	0,11 (NS)	0,00
ARB O y B	66	0,02 (NS)	83,05	1,61 (NS)	87,29	0,00184 (NS)	73,350	0,09 (NS)	86,87	0,12 (NS)	92,50
TOTAL			100		100		100		100		100

CONTR. TG.		CONTR. TG/RD		CONTR. TG.+RD		CONTR. VOLUM.	
C.M.	COMP. de VAR. %	C.M.	COMP. de VAR. %	C.M.	COMP. de VAR. %	C.M.	COMP. de VAR. %
0,51 (NS)	4,30	0,02 (NS)	0,00	1,50 (*)	9,82	3,05 (**)	19,81
0,14 (NS)	0,00	0,02 (NS)	0,00	0,27 (NS)	0,00	0,43 (NS)	0,53
0,37 (*)	24,58	0,10 (NS)	3,01	0,57 (NS)	18,30	0,58 (NS)	14,79
0,22 (NS)	71,12	0,09 (NS)	96,99	0,37 (NS)	71,88	0,40 (NS)	64,87
TOTAL	100		100		100		100

**Tabla 3.**

Medias obtenidas para dureza Janka tangencial comparadas por la Prueba Duncan en un análisis para 11 orígenes (las líneas verticales designan los rangos de no significación de acuerdo con la prueba Duncan a un nivel de 0.05)

Origen	Promedio
4 (DES)	327.17
9 (CAL)	312.33
2 (ASH)	300.00
1 (PIK)	292.83
10 (BAS)	291.92
8 (BEA)	286.50
6 (NAT)	283.25
11 (POL)	280.83
7 (RAP)	275.92
3 (WEB)	266.83
5 (WIN)	238.25

**Tabla 4.**

Medias obtenidas para infradensidad comparadas por la Prueba Duncan en un análisis para 11 orígenes (las líneas verticales designan los rangos de no significación de acuerdo con la prueba Duncan a un nivel de 0.05)

Origen	Promedio
10 (BAS)	0.4343
1 (PIK)	0.4146
3 (WEB)	0.4105
2 (ASH)	0.4096
7 (RAP)	0.4086
6 (NAT)	0.3955
5 (WIN)	0.3833
4 (DES)	0.8309
11 (POL)	0.3782
9 (CAL)	0.3717
8 (BEA)	0.3649

**Tabla 5.**

Regresión: Infradensidad - Peso específico aparente

Fuente de variación	Grados de libertad	SC	CM	F Observado	F Requerido
TOTAL	131	0.2907			
Regresión	1	0.2584	0.2584	1038.6459	6.83
Desvío de la regresión	130	0.0323	0.0002		

$$r = 0.94274$$

$$a = 0.0483$$

$$b = 0.9162$$

Media de infradensidad = 0.3956

Media de peso específico aparente = 0.4108

Los resultados obtenidos en los análisis de varianza de todas las variables estudiadas muestran una variación entre individuos muy superior a la variación entre orígenes (Tabla 2).

Para el ensayo de compresión, se observa que la resistencia es máxima cuando el esfuerzo es ejercido en dirección axial y va disminuyendo cuando se aleja de dicha dirección.

Se verifica la afirmación de numerosos autores de que no hay gran diferencia entre la resistencia a la compresión ejerciendo el esfuerzo en dirección radial y tangencial, pero sí es muy grande entre la resistencia transversal y la axial.

Calculando la relación entre la resistencia transversal y axial se encuentran valores próximos a 5; resultado que concuerda con los hallados por Compredón y Leloup (1953) para maderas resinosas livianas.

De las diferentes resistencias a la compresión halladas, según la dirección considerada, se advierte la importancia que presenta la anisotropía desde el punto de vista de la compresión. De esto se deduce que se debe tener especial cuidado en la elección del corte de piezas en el aserradero para los casos en que la madera es utilizada como punto de apoyo.

Se comprueba que la resistencia a la tracción perpendicular calculada a partir del ensayo de doble hendimiento es débil.

El despegue de las traqueidas no exige gran esfuerzo; por ello es aconsejable en caso de que los esfuerzos en esta dirección sean considerables contar con dispositivos especiales de refuerzo. Esta propiedad también resulta indicadora de la aptitud de la madera al debobinado.

La dureza varía según la dirección considerada, es mayor en sentido axial, intermedia en dirección tangencial y menor para la radial, verificándose la afirmación de numerosos autores (Tabla 2).

En base a los resultados hallados para contracción se comprobó que la contracción en sentido axial (longitudinal) es casi nula, en sentido radial débil y en sentido tangencial mayor que la radial. Estos resultados coinciden con los hallados por Desch (1956) y Kollman (1959).

Los valores de peso específico encontrados para *P. taeda* en el presente estudio coinciden con los hallados por Van Buijtenen (1963); Zobel (1972); Van Der Sijde (1976); Talbert y Jett (1980); Koch (1972).

Se observa que tanto en el caso en que se relacionan pesos (infradensidad) como en el que se relacionan volúmenes (peso específico aparente) las tendencias para los orígenes en estudio se mantuvieron (Tabla 4).

Para simplificar estudios posteriores del peso específico podría evitarse la determinación de los volúmenes, (utilizando voluménometro) que siempre resulta dificultosa.

El método de pesadas no sólo es más rápido y sencillo sino que sus resultados no muestran desviaciones con respecto a los obtenidos a partir del método de determinación de volúmenes (Tabla 5).

Los valores obtenidos del presente estudio constituyen una buena aproximación a los valores correspondientes a la buena aproximación a los valores correspondientes a la especie (*P. taeda* L.) y a las procedencias consideradas; pero no a valores individuales (un gran porcentaje de la varianza es debido al efecto individual de cada árbol); sería recomendable un estudio de la variación de las propiedades dentro del árbol. La alta variabilidad entre individuos o sea dentro de procedencias y no entre procedencias, nos lleva a concluir que se debería realizar una selección masal para lograr una mejora en el carácter, calidad tecnológica de la madera.

La alta variabilidad encontrada dentro de poblaciones indica que sería recomendable realizar un muestreo más intenso para el estudio de diferencias entre poblaciones.

## CONCLUSIONES

De lo expuesto anteriormente se puede extraer las siguientes conclusiones:

1. Según los resultados del ensayo de flexión estática hallados, esta madera puede clasificarse como medianamente resistente, apta como madera estructural y de carpintería, presentando una resistencia a la rotura aceptable.

2. De los resultados obtenidos en el ensayo de compresión paralela se deduce que en utilizaciones como punto de apoyo la madera es poco resistente.

3. En base a los resultados de resistencia a la compresión normal la madera puede clasificarse como resinosa liviana.

4. La resistencia a la compresión es máxima cuando el esfuerzo es ejercido en dirección axial. Calculando la relación entre la resistencia axial y transversal se ve que la misma se encuentra próxima a 5. Este resultado coincide con los hallados por Compredón y Leloup (1953) para maderas resinosa livianas.

-Se verifica la afirmación de numerosos autores de que en maderas, la dirección en que es ejercido el esfuerzo influye en la resistencia. La resistencia es mayor en sentido axial que en transversal.

5. En base a resultados obtenidos del ensayo de resistencia al hendimiento se concluye que esta madera puede clasificarse como poco a medianamente hendible. Altos valores de hendimiento son deseables en madera de uso energético, en cambio para elaboración de muebles tarugados, o como elemento de unión entre piezas adyacentes, son desables valores menores.

6. Según los valores de cota de adherencias obtenidos, la madera puede clasificarse como mediana a muy adherente, lo que la califica como madera de uso corriente y de trabajo.

También puede ser utilizada para debobinado.

-Se comprueba que la resistencia a la tracción perpendicular es débil y por ello es aconsejable en casos en que los esfuerzos en esta dirección sean considerables, contar con dispositivos especiales de refuerzo.

7. Según los resultados de flexión dinámica hallados la madera se rompe con relativa facilidad al ser sometida a choques o impactos, lo que no la hace apta en carrocería y aviación.

8. Los resultados obtenidos para el corte paralelo califican a la madera como de alta resistencia al corte aunque en condiciones de uso se debe tener presente que el corte longitudinal es el más peligroso.

9. Para dureza Janka se analizaron los resultados obtenidos según los tres ejes principales.

-De acuerdo a las normas la madera puede clasificarse como de dureza baja a media, lo que indica una facilidad al trabajo y una resistencia al desgaste media.

-Fue posible comprobar la afirmación de numerosos autores que la dureza varía según la dirección considerada y que ella es mayor en dirección axial, intermedia para la tangencial y menor para la radial.

10. Los resultados obtenidos para la contracción en las tres direcciones consideradas y la contracción volumétrica resultaron menores que los procedentes de la literatura.

Estas diferencias pueden ser atribuibles al haber realizado las mediciones desde un contenido de humedad próximo al 12% hasta el estado anhidro y no desde el estado verde al anhidro.

-De acuerdo a los resultados obtenidos de contracción volumétrica es posible clasificar a la madera como de baja contracción y medianamente estable.

-En base a los resultados hallados fue posible comprobar la afirmación general de numerosos autores: la contracción en sentido axial (longitudinal) es casi nula, en sentido radial débil y en sentido tangencial mayor que la radial.

11. Se comprobó que los valores medios se mantuvieron en todos los casos dentro del mismo rango de variación tanto para la infradensidad (calculada a partir de datos gravimétricos) como para los pesos específicos aparentes (basados en pesadas y en determinación de volumen).

-Para simplificar estudios posteriores la determinación del peso específico puede ser realizada a partir de mediciones gravimétricas y así evitar la dificultosa medición de volúmenes.

12. Dadas las características anisotrópicas de la madera, comprobadas experimentalmente al realizar los ensayos de compresión, dureza Janka y contracción, es posible concluir que resulta de fundamental importancia práctica la elección del corte más apropiado para los diferentes usos a dar a la madera.

13. Al realizar el análisis de varianza se observó que gran parte de la fuente de variación, era debida a efectos individuales, por lo que para disminuir la misma sería recomendable un estudio de la variación de las propiedades dentro del árbol.

14. Para los ensayos de contracción longitudinal y dureza Janka axial se obtuvo una interacción significativa entre bloques y orígenes.

15. De los resultados obtenidos del análisis de regresión resulta que para estudios posteriores sería recomendable el empleo de un mayor número de repeticiones, tomando siempre probetas procedentes de la misma posición radial en el árbol.

16. Sería recomendable realizar el cálculo de la infradensidad y/o peso específico aparente en cada una de las probetas correspondientes a cada ensayo mecánico.

17. Los valores obtenidos del presente estudio constituyen una buena aproximación a los valores correspondientes a la especie, pero no a valores individuales, debido a la alta variabilidad individual encontrada.

18. *P. taeda* presenta características que la hacen apta para carpintería, como madera estructural, pudiéndose aserrar, debobinar, clavar y atornillar.

19. De los resultados obtenidos es posible concluir que sería conveniente orientar posteriores etapas de mejoramiento genético hacia la selección masal por calidad tecnológica de la madera.

## BIBLIOGRAFIA

- DESCH, H.E. 1956. Timber. its structure and properties. 3ed. London. Mac Millan. 1956. 343 p.
- KOCH, P. 1972. Utilization of the southern pines. US. Department of Agriculture. Forest Service. Agriculture Handbook No. 420. 1972. 734 p.
- KOLLMAN, F. 1956. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Madrid. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. 1959. 657 p.
- TALBERT, J. and JETT, J. 1981. Regional specific gravity values for Plantation Brown Loblolly Pine in the Southeastern United States. Forest Science 27 (4): 801-807. 1981.
- VAN BUIJTENEN, J. P. 1963. Inheritance of wood properties and their relation to growth rate in Pinus taeda. In Consulta mundial sobre genética forestal y mejora del árbol. Stockham. 1963. Actas. Roma. FAO. 1963. v.2. Section 7/2. p.i.rr.
- VAN DER SIJDE, H. A. 1976. Wood Density and Growth rate of Pinus elliottii and Pinus taeda Clones Planted on two sites in the Eastern Transvaal. South African Forestry Journal No. 98: 48-52. 1976.
- ZOBEL, B. J. 1964. Mejora genética de las propiedades de la madera de especies forestales. Unasyva (FAO) 18 (2-3): 89-101. 1964.
- KELLISON, R. and MATTHIAS, M. 1969. Genetic improvement in forest trees-growth rate and wood characteristics in young Loblolly Pine. In Proceedings of the 10th Southern Conference on Forest Tree Improvement: 59-75. 1969. (Original no consultado: compendiado en: Forestry Abstracts 34 (4): 2173. 1973).