

**INCIDENCIA DE LA EDAD DEL ARBOL SOBRE LAS PROPIEDADES FISICAS Y
MECANICAS DEL PINO RADIATA**
(Pinus Radiata D. Don.)

Vicente Pérez Galaz (*)

RESUMEN

El presente trabajo establece la influencia de la edad sobre las propiedades mecánicas del Pino Radiata mediante el ensayo de probetas libres de defectos, extraídas de árboles de 25 y 35 años. Al comparar los resultados para las dos poblaciones utilizando métodos normalizados, se demuestra que la resistencia de los árboles de mayor edad es superior a la de los árboles jóvenes obteniéndose, en promedio, un incremento igual a 20% para las diferentes propiedades mecánicas determinadas en estado verde y de un 11% para aquellas determinadas en estado seco al aire ($H = 12\%$).

ABSTRACT

This work establishes the influence of age on mechanical properties of Radiata Pine wood by testing small clear specimens, obtained from 25 and 35 year old trees. Comparing the results of the two populations using normalized methods, strength of older trees is shown to be higher than that of young trees, obtaining, on average, a 20% increase on the different mechanical properties determined in green condition and 11% for those determined in air dry conditions ($H = 12\%$).

(*) Ingeniero Civil, Jefe División Industrias, Instituto Forestal, Huérfanos 554 Piso 5° Santiago - Chile.

INTRODUCCION

La aplicación del Decreto Ley 701 de Fomento Forestal ha logrado que la actual superficie plantada de Pino Radiata (*Pinus radiata D. Don*) sea estimada en más de un millón de hectáreas.

Se considera que con este recurso la oferta nacional de madera en pie de Pino Radiata, en el año 2000, podría llegar a 41 millones de m³, o sea tres veces mayor al volumen que se cortó en 1980, el cual fue de 9,3 millones de m³.

Como lo más probable es que la demanda no tenga la misma tasa de crecimiento y que esto obligue a un aumento de la actual edad de rotación de las plantaciones de Pino Radiata (25 a 30 años) a edades mayores, se hace necesario y conveniente tener un panorama muy claro y preciso de lo que pasa con las propiedades físicas y mecánicas del Pino Radiata adulto, entendiéndose como tal a pino con edades de 35 años o más.

El objetivo del presente estudio es, por lo tanto, establecer si la madera del pino adulto tiene mejores propiedades que las determinadas en el pino joven (25 - 30 años).

Si esto se logra demostrar se posibilita: el uso de tal madera en campos que por ahora le están vedados debido a su baja resistencia (construcción habitacional y elementos estructurales), la comercialización de ella en mercados que ahora la rechazan y el aumento de su precio de venta.

Las propiedades se estudiaron en probetas estándares, en estado verde y seco al aire (H = 12%) y fueron: densidad, resistencia a la flexión estática y dinámica, resistencia a la compresión paralela y normal, cizalle, tracción normal, clivaje, dureza y extracción de clavo.

METODO EXPERIMENTAL

Material Utilizado

El material utilizado fue donado por la Empresa Forestal Arauco y estaba constituido por 10 árboles provenientes de un bosque de 25 años (pino joven) y por 10 árboles extraídos de un bosque de 35 años (pino adulto).

Se trató de que ambos rodales tuvieran características similares de clima y suelo para reducir la variabilidad de los resultados, lo cual se logró en la localidad de Horcones en la Comuna de Arauco.

Una vez seleccionados los diez árboles en cada edad, se les midió el DAP (ver Tabla N° 1) y luego fueron volteados y trozados. El trozado consistió en obtener 3 trozos de 0,6 m y dos de 2,4 m, siguiendo un orden alternado y partiendo con la troza de 0,6 m en el nivel inferior. Los trozos cortos se destinaron para el estudio de las propiedades químicas (pulpaje, contenido de lignina, etc.) y los trozos de 2,4 m para el análisis de las propiedades físicas y mecánicas. El estudio químico lo tomó el Departamento de Productos Forestales de la U. de Concepción y el estudio físico-mecánico se realizó en los laboratorios del INSTITUTO FORESTAL.

De cada troza de 2,4 m se obtuvieron cuatro viguetas de 2" x 2" (5 x 5 cm) de sección transversal. Dos para obtener probetas en estado verde y las otras dos para probetas en estado seco al aire.

Se obtuvo así, en la mayoría de los casos 40 probetas por ensayo y por edad.

En resumen:

- Número de árboles por edad	: 10
- Número de trozas por árbol	: 2
- Número de viguetas por troza y por estado	: 2
- Número de probetas por viguetas y por estado	: 1
Total de probetas por edad, por ensayo y por estado	: $10 \times 2 \times 2 \times 1 = 40$

TABLA N° 1
CARACTERISTICA Y TROZADO DE LOS ARBOLES MUESTREADOS

EDAD: 25 AÑOS				EDAD: 35 AÑOS			
ARBOL N°	DAP cm	TROZA (2,4 m)		ARBOL N°	DAP cm	TROZA (2,4 m)	
		Inferior N°	Superior N°			Inferior N°	Superior N°
1	35,0	50	51	1	56,0	70	71
2	36,5	52	53	2	64,0	72	73
3	31,0	54	55	3	66,0	74	75
4	36,0	56	57	4	57,0	76	77
5	35,0	58	59	5	48,0	78	79
6	31,0	60	61	6	40,0	80	81
7	31,0	62	63	7	47,0	82	83
8	29,5	64	65	8	56,0	84	85
9	36,0	66	67	9	52,0	86	87
10	36,0	68	69	10	57,0	88	89

Propiedades estudiadas

De acuerdo a las prescripciones de las normas chilenas del INN se investigaron las siguientes propiedades: flexión estática, flexión dinámica, compresión paralela, compresión normal, cizalle paralelo tangencial y radial, clivaje tangencial y radial, tracción normal a las fibras tangencial y radial, dureza normal y paralela y extracción de clavo normal y paralela.

De cada una de las probetas se extrajeron muestras para determinar las siguientes propiedades físicas asociadas: el contenido de humedad y la densidad basada en:

- masa y volumen de la madera en el momento del ensayo (densidad de referencia y densidad normal).
- masa seca al horno y volumen en el momento del ensayo (densidad básica y densidad normal).
- masa y volumen seco al horno (densidad anhidra).

Método de Ensayo

Los métodos de ensayo usados se ajustaron esencialmente a las prescripciones de las normas chilenas.

Se tuvo especial cuidado en que la selección de los elementos se hiciese al azar, especialmente en lo que se refiere a la ubicación de las viguetas en las trozas y a la elección de las probetas en las viguetas.

Una vez obtenidas las viguetas para las determinaciones y ensayos en estado verde, ellas se almacenaron en un depósito con agua hasta su procesamiento. Las viguetas destinadas al ensayo en estado seco al aire, permanecieron encastilladas hasta que se logró en ellas el contenido de humedad apropiado para su procesamiento.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos en los diferentes ensayos y determinaciones en estado verde se encuentran detallados en la Tabla N° 2, y en la Tabla N° 3 para el estado seco al aire ($H = 12\%$).

Cada una de las muestras formadas por los resultados de un determinado tipo de ensayo, fue sometida a la eliminación de valores extremos muy improbables, efectuada de acuerdo a las indicaciones de la norma ASTM D 178-61 T.

Para cada una de las propiedades (x) estudiadas, se calculó la media (\bar{x}), la desviación estándar (s_x) y el coeficiente de variación (V_x) de las n probetas correspondientes.

Análisis de los Resultados

Los valores que se han obtenido en el presente estudio se comparan (ver Tabla N° 4 y N° 5) con aquellos que se determinaron en el año 1964 en una investigación realizada en el IDIEM de la Universidad de Chile y que correspondieron a un muestreo que consideró las principales regiones pineras del país. De ellas se eligió como patrón de comparación la de Arauco, que aportó 10 árboles provenientes de las localidades de Antihuala (5) y Curanilahue (5).

Las edades de los 40 árboles seleccionados en 1964 fluctuaban entre 25 a 30 años y por lo cual se pueden clasificar como pinos jóvenes. A este conjunto de ensayos se le ha identificado "muestreo nacional Arauco".

TABLA 2
VALORES OBTENIDOS PARA EL ESTADO VERDE
NORMA DE ENSAYO: ASTM – Nch (INN)

PROPIEDAD O DETERMINACION	UNIDAD	PINO JOVEN (Edad: 25 años)			PINO ADULTO (Edad: 35 años)		
		N° de Probetas	Media	Coef. de Variación (%)	N° de Probetas	Media	Coef. de Variación (%)
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	516	117,4	31,5	520	60,3	53,0
DENSIDAD							
De referencia	Kg/m ³	516	823	3,4	520	692	23,0
Básica	Kg/m ³	516	414	2,7	520	495	10,7
Anhida	Kg/m ³	516	470	2,6	520	505	13,1
FLEXION ESTATICA							
Tens. Lím. de Proporc.	Kg/cm ²	36	264,4	20,5	39	314,2	18,1
Módulo de Rotura	Kg/cm ²	36	410,0	19,0	39	465,7	18,3
Módulo de Elasticidad	Ton/cm ²	36	65,8	20,7	39	72,6	19,1
FLEXION DINAMICA							
Tenacidad Tangencial	N. cm	40	3.004	32,7	40	3.983	37,8
Tenacidad Radial	N. cm	40	2.788	31,2	40	3.451	48,0
COMPRESION PARALELA							
Tens. Lím. de Proporc.	Kg/cm ²	40	117,1	24,7	40	166,6	21,2
Tensión Máxima	Kg/cm ²	40	170,3	13,4	40	208,4	18,8
Módulo de Elasticidad	Ton/cm ²	40	76,9	29,4	40	83,2	22,1
COMPRESION NORMAL							
Tens. Lím. de Proporc.	Kg/cm ²	40	37,5	17,9	40	44,1	22,7
Tensión Máxima	Kg/cm ²	40	68,0	21,9	40	76,3	24,1
CIZALLE							
Resistencia Tangenc.	Kg/cm ²	40	63,9	12,4	40	72,1	15,4
Resistencia Radial	Kg/cm ²	40	55,5	18,9	40	63,7	13,5
CLIVAJE							
Resistencia Tangenc.	Kg/cm	40	38,3	19,3	40	42,5	16,5
Resistencia Radial	Kg/cm	40	32,6	20,9	40	36,9	24,1
TRACCION NORMAL							
Resistencia Tangenc.	Kg/cm ²	40	37,0	11,6	40	33,2	21,1
Resistencia Normal	Kg/cm ²	40	26,9	13,0	40	24,4	20,5
DUREZA (JANKA)							
Resistencia Paralela	Kg	40	218	17,0	40	263	23,9
Resistencia Normal	Kg	40	192	20,8	40	244	23,4
EXTRACION DE CLAVO							
Resistencia Paralela	Kg	40	19	68,4	40	49	28,6
Resistencia Normal	Kg	40	60	21,7	40	79	25,3

TABLA N° 3
VALORES OBTENIDOS PARA EL ESTADO SECO (H = 12%)
NORMA DE ENSAYO: ASTM – Nch (INN)

PROPIEDAD O DETERMINACION	UNIDAD	PINO JOVEN (Edad: 25 años)			PINO ADULTO (Edad: 35 años)		
		N° de Probetas	Media	Coef. de Variación (%)	N° de Probetas	Media	Coef. de Variación (%)
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	456	12,6	8,4	460	11,9	9,5
DENSIDAD Normal (1)	Kg/m ³	456	522	15,2	460	544	12,5
Nominal (2)	Kg/m ³	456	467	15,3	460	489	12,1
Anhidra	Kg/m ³	456	484	12,7	460	505	12,7
FLEXION ESTATICA Tens. Lím. de Proporc.	Kg/cm ²	40	487,8	21,6	40	554,6	22,5
Módulo de Rotura	Kg/cm ²	40	687,5	18,4	40	792,6	20,0
Módulo de Elasticidad	Ton/cm ²	40	99,28	22,6	40	110,26	24,4
FLEXION DINAMICA Tenacidad Tangencial	N. cm	10	2.478	18,7	10	2.015	22,9
Tenacidad Radial	N. cm	10	1.910	11,2	10	1.655	12,0
COMPRESION PARALELA Tens. Lím. de Proporc.	Kg/cm ²	40	252,5	26,8	40	299,2	25,2
Tensión Máxima	Kg/cm ²	40	397,2	17,8	40	433,6	18,0
Módulo de Elasticidad	Ton/cm ²	40	98,65	20,6	40	107,82	21,5
COMPRESION NORMAL Tens. Lím. de Proporc.	Kg/cm ²	40	68,5	22,5	40	74,0	23,0
Tensión Máxima	Kg/cm ²	40	132,2	18,4	40	136,1	20,5
CIZALLE Resistencia Tangenc.	Kg/cm ²	40	83,1	9,4	40	88,2	11,2
Resistencia Radial	Kg/cm ²	40	79,7	4,8	40	80,8	5,9
CLIVAJE Resistencia Tangenc.	Kg/cm	39	50,2	15,1	40	54,0	22,6
Resistencia Radial	Kg/cm	40	37,9	19,5	40	36,3	25,2
TRACCION NORMAL Resistencia Tangenc.	Kg/cm ²	40	27,6	19,1	40	32,6	18,8
Resistencia Normal	Kg/cm ²	40	24,8	19,9	40	25,5	24,6
DUREZA (JANKA) Resistencia Paralela	Kg	40	446	12,1	40	472	11,7
Resistencia Normal	Kg	40	290	20,7	40	348	22,4
EXTRACION DE CLAVO Resistencia Paralela	Kg	37	32	50,0	40	54	38,6
Resistencia Normal	Kg	37	46	33,0	40	77	43,4

(1) Densidad Normal = cociente entre la masa y volumen, ambos determinados a un contenido de humedad igual a 12%.

(2) Densidad Nominal = cociente entre la masa anhidra y el volumen determinado a un contenido de humedad igual a 12%.

TABLA 4
COMPARACION DE LOS VALORES MEDIOS OBTENIDOS CON LOS DEL
MUESTREO NACIONAL – ARAUCO (1964). ESTADO VERDE

PROPIEDAD O DETERMINACION	UNIDAD	MUESTREO NACIONAL ARAUCO - 1964		PINO JOVEN		PINO ADULTO	
		Media	%	Media	%	Media	%
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	185,9	—	117,4	—	60,3	—
DENSIDAD							
Aparente	Kg/m ³	—	—	823	100	692	84
Básica	Kg/m ³	—	—	414	100	445	107
Anhidra	Kg/m ³	403	86	470	100	505	107
FLEXION ESTATICA							
Tens. Lím. de Proporc.	Kg/cm ²	198	75	264,4	100	314,2	119
Módulo de Rotura	Kg/cm ²	390	95	410,0	100	465,7	114
Módulo de Elasticidad	Ton/cm ²	71,54	109	65,78	100	72,61	110
FLEXION DINAMICA							
Tenacidad Tangencial	N. cm	2725	91	3004	100	3983	133
Tenacidad Radial	N. cm	2551	91	2788	100	3451	124
COMPRESION PARALELA							
Tens. Lím. de Proporc.	Kg/cm ²	105,0	90	117,1	100	166,6	142
Tensión Máxima	Kg/cm ²	162,0	95	170,3	100	208,4	122
Módulo de Elasticidad	Ton/cm ²	67,07	87	76,9	100	83,22	108
COMPRESION NORMAL							
Tens. Lím. de Proporc.	Kg/cm ²	—	—	37,5	100	44,1	118
Tensión Máxima	Kg/cm ²	—	—	68,0	100	76,3	112
CIZALLE							
Resistencia Tangenc.	Kg/cm ²	55,0	86	63,9	100	72,1	113
Resistencia Radial	Kg/cm ²	46,0	83	55,5	100	63,7	115
CLIVAJE							
Resistencia Tangenc.	Kg/cm	38,0	99	38,3	100	42,5	111
Resistencia Radial	Kg/cm	33,0	101	32,6	100	36,9	113
TRACCION NORMAL							
Resistencia Tangenc.	Kg/cm ²	—	—	37,0	100	33,2	90
Resistencia Normal	Kg/cm ²	—	—	26,9	100	24,4	91
DUREZA (JANKA)							
Resistencia Paralela	Kg	197	90	218	100	263	116
Resistencia Normal	Kg	168	88	192	100	244	127
EXTRACION DE CLAVO							
Resistencia Paralela	Kg	21	111	19	100	49	258
Resistencia Normal	Kg	45	75	60	100	79	132
		PROM.	91	PROM.	100	PROM.	120

TABLA 5
COMPARACION DE LOS VALORES MEDIOS OBTENIDOS CON LOS DEL
MUESTREO NACIONAL – ARAUCO (1964). ESTADO SECO (H = 12%)

PROPIEDAD O DETERMINACION	UNIDAD	MUESTREO NACIONAL ARAUCO - 1964		PINO JOVEN		PINO ADULTO		
		Media	%	Media	%	Media	%	
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	11,7	–	12,6	–	11,9	–	
DENSIDAD								
Normal (1)	Kg/m ³	–	–	522	100	554	104	
Nominal (2)	Kg/m ³	–	–	467	100	489	105	
Anhidra	Kg/m ³	413	85	484	100	505	104	
FLEXION ESTATICA								
Tens. Lím. de Proporc.	Kg/cm ²	400,0	82	487,8	100	554,6	114	
Módulo de Rotura	Kg/cm ²	689,0	100	687,5	100	792,6	115	
Módulo de Elasticidad	Ton/cm ²	89,32	90	99,28	100	110,26	111	
FLEXION DINAMICA								
Tenacidad Tangencial	N. cm	1793	72	2478	100	2015	81	
Tenacidad Radial	N. cm	1823	95	1910	100	1655	87	
COMPRESION PARALELA								
Tens. Lím. de Proporc.	Kg/cm ²	183,0	72	252,5	100	299,2	118	
Tensión Máxima	Kg/cm ²	396,0	100	397,2	100	433,6	109	
Módulo de Elasticidad	Ton/cm ²	103,52	105	96,85	100	107,82	109	
COMPRESION NORMAL								
Tens. Lím. de Proporc.	Kg/cm ²	–	–	68,5	100	74,0	108	
Tensión Máxima	Kg/cm ²	–	–	132,2	100	136,1	103	
CIZALLE								
Resistencia Tangenc.	Kg/cm ²	78,0	94	82,1	100	88,2	106	
Resistencia Radial	Kg/cm ²	70,0	88	79,7	100	80,8	101	
CLIVAJE								
Resistencia Tangenc.	Kg/cm	54,0	108	50,2	100	54,0	108	
Resistencia Radial	Kg/cm	37,0	98	37,9	100	36,3	96	
TRACCION NORMAL								
Resistencia Tangenc.	Kg/cm ²	–	–	27,6	100	32,6	118	
Resistencia Normal	Kg/cm ²	–	–	24,8	100	25,5	103	
DUREZA (JANKA)								
Resistencia Paralela	Kg	295	66	446	100	472	106	
Resistencia Normal	Kg	215	74	290	100	348	120	
EXTRACION DE CLAVO								
Resistencia Paralela	Kg	24	75	32	100	54	169	
Resistencia Normal	Kg	39	85	46	100	77	167	
		PROM.		88	PROM.	100	PROM.	111

(1) y (2): Ver notas en Tabla N° 3.

Para comparar los resultados obtenidos de las dos poblaciones en estudio se eligió el procedimiento que entrega la norma chilena NCh 1989 Maderas - Agrupamiento de Especies Madereras según su Resistencia - Procedimiento. El resumen de tal aplicación se incluye en la Tabla N° 6 y su resultado señala que el Pino Adulto queda en el grupo inmediatamente superior (en resistencia) que el Pino Joven.

La agrupación resultante, incluyendo todas las especies madereras para las cuales se cuentan con propiedades mecánicas confiables, se presenta en la Tabla N° 7, en la cual también aparecen el Pino Adulto y el Pino Joven estudiados.

Este agrupamiento se utiliza en la determinación de las Tensiones Admisibles aplicables a las maderas que se seleccionan mediante una clasificación estructural visual. Si se acepta que los grados estructurales que se pueden aplicar al Pino Radiata están comprendidos entre el Grado Estructural N° 3 (Razón de resistencia igual a $RR = 0,48$) y el Grado Estructural N° 4 ($RR = 0,38$) se obtiene, de acuerdo con la norma chilena NCh 1990 Madera - Tensiones Admisibles para Madera Estructural que, para un Grado Estructural determinado, la madera estructural proveniente de Pino Adulto mejora significativamente sus tensiones admisibles respecto a la que proviene del Pino Joven. Ver Tablas N° 8 y N° 9.

Para cuantificar esta mejoría en las Tensiones Admisibles, se compararán las resistencias admisibles de la madera estructural, clasificada visualmente en un hipotético Grado Estructural N° 4 ($RR = 0,38$), proveniente de Pino Adulto y de Pino Joven, en ambos estados de contenido de humedad. Ver Tabla N° 10.

El incremento (en %) para cada una de las tensiones admisibles incluidas en esta comparación, tanto para el estado verde como para el estado seco al aire ($H = 12\%$) se presenta en la Tabla N° 11.

TABLA 6
AGRUPACION DEL PINO JOVEN Y PINO ADULTO
Según NCh 1989

ESPECIE			PROPIEDAD EN ESTADO							
			VERDE				SECO			
Nombre Común	Nombre Científico	Antecedentes	Rf MPa	Ef MPa	Rc MPa	Grupo	Rf MPa	Ef MPa	Rc MPa	Grupo
Pino Radiata (Pino Joven) (Edad: 25 años)	Pinus radiata D. Don	Valor Grupo	40,2 E 6	6453 E 4	16,7 E 6	E 6	67,4 ES 5	9736 ES 5	39,0 ES 5	ES 5
Pino Radiata (Pino Adulto) (Edad: 35 años)	Pinus radiata D. Don	Valor Grupo	45,7 E 5	7120 E 4	20,4 E 5	E 5	77,7 ES 4	10813 ES 4	42,5 ES 5	ES 4

- * : Rf : Módulo de Rotura
Ef : Módulo de Elasticidad en Flexión
Rc : Tensión Máxima den Compresión Paralela

TABLA 7
AGRUPACION DEL PINO JOVEN Y PINO ADULTO CON RESPECTO
A OTRAS ESPECIES MADERERAS, SEGUN NCh 1989

ESTADO VERDE		ESTADO SECO (H = 12%)	
GRUPO	ESPECIE MADERERA*	GRUPO	ESPECIE MADERERA*
E2	Eucalipto	ES2	Eucalipto
E3	Ulmo	ES3	Lingue
E4	Araucaria Coihue Coihue (Chiloé) Coihue (Magallanes) Raulí Roble Roble (Maule) Tineo	ES4	Araucaria Coihue Coihue (Chiloé) Laurel Lenga Mañío Hojas Largas Roble Roble (Maule) Tineo Ulmo PINO ADULTO (35 años)
E5	Alerce Canelo (Chiloé) Ciprés (Cordillera) Ciprés (Guaitecas) Laurel Lenga Lingue Mañío Macho Olivillo Pino Oregón Tepa PINO ADULTO (35 años)	ES5	Alerce Canelo (Chiloé) Ciprés (Cordillera) Coihue (Magallanes) Mañío Macho Olivillo Pino Radiata (Muestreo Nacional) PINO JOVEN (25 años)
E6	Alamo Pino Radiata (Muestreo Nacional) PINO JOVEN (25 años)	ES6	Alamo Ciprés (Guaitecas) Mañío Hembra

* Identificación por su nombre común.

TABLA 8
RELACION ENTRE EL AGRUPAMIENTO DE ESPECIES, LA CLASE
ESTRUCTURAL Y LA CLASIFICACION VISUAL
(GRADO ESTRUCTURAL) DE LA MADERA, SEGUN NCh 1990

CLASIFICACION VISUAL		AGRUPAMIENTO DE ESPECIES			
IDENTIFICACION DEL GRADO	RAZON DE RESISTENCIA	ESTADO VERDE		EST. SECO (H=12%)	
		E5	E6	ES4	ES5
		CLAS. ESTRUCT.*		CLAS. ESTRUCT.*	
Grado Estructural N° 3	0,48	F 7	F 5	F 14	F 11
Grado Estructural N° 4	0,38	F 5	F 4	F 11	F 8

(*) Las tensiones admisibles para estas clases estructurales se señalan en la Tabla N° 9.

TABLA 9
TENSIONES ADMISIBLES PARA LAS CLASES ESTRUCTURALES
QUE INTERESAN, SEGUN NCh 1990

CLASE ESTRUCTURAL	TENSIONES ADMISIBLES (MPa)				MODULO DE ELASTICIDAD EN FLEXION MPa
	FLEXION	COMPRESION PARALELA	TRACCION PARALELA	CIZALLE	
F 14	14,0	10,5	8,4	1,25	9.100
F 11	11,0	8,3	6,6	1,05	7.900
F 8	8,6	6,6	5,2	0,86	6.900
F 7	6,9	5,2	4,1	0,72	6.100
F 5	5,5	4,1	3,3	0,62	5.500
F 4	4,3	3,3	2,6	0,52	5.000

1 MPa = 10,1927 Kg/cm²

TABLA 10

COMPARACION DE LAS TENSIONES ADMISIBLES PARA MADERA ESTRUCTURAL, CLASIFICADA VISUALMENTE, EN UN GRADO ESTRUCTURAL N° 4

ESTADO	VERDE		SECO (H = 12%)	
	MADERA PROVENIENTE DE	PINO JOVEN	PINO ADULTO	PINO JOVEN
Grupo Estructural (Ver Tabla 7)	E 6	E 5	ES 5	ES 4
Grado Estructural	N° 4 (RR = 0,38)			
Clase Estructural (Ver Tabla 8)	F 4	F 5	F 8	F 11
Tensión Admisible en Flexión	43,8 Kg/cm ²	56,1 Kg/cm ²	87,7 Kg/cm ²	112,2 Kg/cm ²
Tensión Admisible en Compresión Paralela	33,7 Kg/cm ²	41,8 Kg/cm ²	67,3 Kg/cm ²	84,6 Kg/cm ²
Tensión Admisible en Tracción Paralela	26,5 Kg/cm ²	33,7 Kg/cm ²	53,0 Kg/cm ²	67,3 Kg/cm ²
Tensión Admisible en Cizalle	5,3 Kg/cm ²	6,3 Kg/cm ²	8,8 Kg/cm ²	10,7 Kg/cm ²
Módulo de Elasticidad en Flexión	50.986 Kg/cm ²	56.085 Kg/cm ²	70.360 Kg/cm ²	80.558 Kg/cm ²

TABLA 11

INCREMENTO DE LAS TENSIONES ADMISIBLES PARA MADERA ESTRUCTURAL
PROVENIENTE DE PINO ADULTO RESPECTO A LA
PREVENIENTE DE PINO JOVEN

TENSION ADMISIBLE	INCREMENTO (%) PARA ESTADO VERDE	INCREMENTO (%) PARA ESTADO SECO (H = 12%)
Flexión	28	28
Comprensión Paralela	24	26
Tracción Paralela	27	27
Cizalle	19	22
Módulo de Elasticidad en Flexión	10	14

CONCLUSIONES

- En general se observa que los valores medios de las propiedades mecánicas del muestreo nacional (1964) son menores que las determinadas en este estudio. En promedio resultan, para la misma edad, un 9% menores en estado verde y un 12% más bajas para el estado seco (H = 12%).
- Los valores medios de las propiedades mecánicas del pino adulto (35 años) son mayores que los del pino joven (25 años), para árboles extraídos de zonas con condiciones climáticas similares. En promedio resultan un 20% más altas para el estado verde y un 11% mayores para el estado seco al aire (H = 12%).
- La densidad del rodal adulto se incrementa, en promedio en un 6% respecto al rodal joven.
- Si a los resultados obtenidos se le aplica el procedimiento normalizado en la NCh 1989 Maderas - Agrupamiento de Especies Madereras según su Resistencia-Procedimiento, se obtiene que:
 - El Pino Joven queda en los mismos grupos definidos para el Pino Radiata, los cuales quedaron establecidos con las propiedades mecánicas determinadas en el Muestreo Nacional (1964). Ello tanto en el estado verde como en el estado seco al aire. Se hace notar que la edad de los árboles usados en el muestreo de 1964 estaba comprendida entre 25 y 30 años.
 - El Pino Adulto queda en el grupo inmediatamente superior, en resistencia, que el Pino Joven, tanto en el estado verde como en el estado seco al aire (H = 12%).
- La posición del Pino Joven y del Pino Adulto en el agrupamiento final, considerando todas las especies madereras para las cuales se cuenta con propiedades mecánicas confiables se presenta en la Tabla N° 7, la cual sirve también como instrumento de comparación con las otras maderas que crecen en Chile. En esta comparación es necesario tener presente el origen de los árboles usados en el presente estudio.

- La mejoría de las propiedades mecánicas del Pino Radiata con la edad puede derivar en tensiones admisibles más altas, según se desprende de la aplicación de la norma NCh 1990 Madera - Tensiones Admisibles para Madera Estructural o los resultados de este estudio y aceptando un Grado Estructural hipotético con una razón de resistencia igual a: $RR = 0,38$, obtenido mediante una clasificación visual. Este incremento de las tensiones admisibles puede ser un 28% para la flexión, de hasta un 26% para la compresión paralela, de un 27% para la tracción paralela, entre un 19 y 22% para el cizalle y de un 10 a un 14% para el módulo de elasticidad en flexión. Lo anterior, considerando ambos estados del contenido de humedad de la madera. Ver Tabla N° 11.

- La madera de Pino Radiata adulto, es decir con edades iguales o superiores a 35 años tiene mejores propiedades resistentes que la del Pino Radiata de 25 años. Esto permite reubicar la madera estructural extraída de pinos adultos en Grados Estructurales superiores a los considerados hasta ahora para el Pino Joven (25 años), lo que puede derivar en lograr su comercialización en los mercados exigentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Recommended practice for dealing with outlying observations. ASTM Designation: E 178-68 En: American Society for Testing and materials. 1868 Book for ASTM standards with related material. Part. 30. Philadelphia (U.S.A.), 1968. pp. 434-450.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN) NCh 968. Madera. Selección, obtención y acondicionamiento de muestras y probetas para la determinación de propiedades físicas y mecánicas. Santiago, Chile.

1. NCh 971. Madera. Determinación del contenido de humedad. Santiago, Chile. 3 p.
2. NCh 972. Madera. Determinación del peso específico de las probetas. Santiago, Chile. 3 p.
3. NCh 973. Madera. Determinación de las propiedades mecánicas. Ensayo de compresión paralela al grano. Santiago, Chile. 5 p.
4. NCh 974. Madera. Determinación de las propiedades mecánicas. Ensayo de compresión perpendicular al grano. Santiago, Chile. 5 p.
5. NCh 975. Madera. Determinación de las propiedades mecánicas, Ensayo de tracción perpendicular al grano. Santiago, Chile. 5 p.
6. NCh 976. Madera. Determinación de las propiedades mecánicas. Ensayo de cizalle. Santiago, Chile. 5 p.
7. NCh 977. Madera. Determinación de las propiedades mecánicas. Ensayo de clivaje. Santiago, Chile. 6 p.
8. NCh 987. Madera. Determinación de las propiedades mecánicas. Ensayo de dureza. Santiago, Chile. 3 p.
9. NCh 979. Madera. Determinación de las propiedades mecánicas. Ensayo de extracción de clavos. Santiago, Chile. 4 p.
10. NCh 980. Madera. Determinación de la contracción. Santiago, Chile. 4 p.
11. NCh 986. Madera. Determinación de las propiedades mecánicas. Ensayo de tenacidad. Santiago, Chile. 5 p.
12. NCh 987. Madera. Determinación de las propiedades mecánicas. Ensayo de flexión estática. Santiago, Chile. 5 p.
13. NCh 1989. Madera. Agrupamiento de especies madereras según Resistencia-procedimiento.
14. NCh 1990. Madera. Tensiones admisibles para madera estructural.
15. INSTITUTO FORESTAL. Recopilación de propiedades mecánicas de maderas creciendo en Chile. Instituto Forestal. Nota Técnica N° 8. 1967. 8 p.