

C
T. 1551
02

MINISTERIO DE EDUCACION Y CULTURA
UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE AGRONOMIA

PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS
DE LA MADERA DE PINUS ELLIOTTII

por

FACULTAD DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE
DOCUMENTACION Y
BIBLIOTECA

Alvaro Jorge BREGANTE PIRONE
Carlos Enrique MANTERO ALVAREZ

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener
el título de Ingeniero Agrónomo
(Orientación Forestal)

Montevideo
URUGUAY
1983

Tesis aprobada por:

Director: _____

Nombre completo y firma

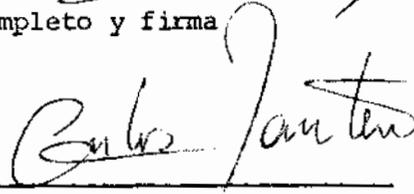
Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

Fecha: _____

Autores: Alvaro J. Bregante Pirone 

Nombre completo y firma

Carlos E. Mantero Alvarez 

Nombre completo y firma

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren dejar constancia de su reconocimiento a las siguientes entidades por su colaboración para la realización del presente trabajo: Industrias Forestales Puerto Arazatí (DYOYA S.A.), Usinas y Transmisiones Eléctricas del Estado (UTE), Caja Notarial de Jubilaciones y Pensiones y Caja de Jubilaciones y Pensiones Bancarias.

Quieren además, agradecer el apoyo permanente brindado por la dirección y personal del Instituto de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería

	<u>Página</u>
II.3.1.1. Duración del esfuerzo y tasa de deformación...	19
II.3.1.2. Temperatura.....	19
II.3.1.3. Peso específico.....	20
II.3.1.4. Contenido de humedad....	20
II.3.1.5. Velocidad de crecimiento	20
II.3.1.6. Edad.....	20
III. <u>MATERIALES Y METODOS</u>.....	23
III.1. MATERIALES.....	23
III.2. METODOS.....	23
III.2.1. <u>Muestreo</u>	23
III.2.1.1. Precisión.....	24
III.2.1.2. Selección de la zona..	24
III.2.1.3. Centro de actividad...	25
III.2.1.4. Trozas.....	25
III.2.1.5. Viguetas.....	25
III.2.1.6. Probetas.....	25
III.2.2. <u>Propiedades físicas</u>	26
III.2.2.1. Peso específico aparente	26
III.2.2.2. Contracción.....	26
III.2.3. <u>Propiedades mecánicas</u>	26
III.2.3.1. Flexión estática.....	26
III.2.3.2. Flexión dinámica.....	27
III.2.3.3. Compresión paralela...	27
III.2.3.4. Tracción perpendicular a las fibras o doble hendimiento.....	27
III.2.3.5. Hendimiento.....	27
III.2.3.6. Compresión perpendicu- lar a las fibras.....	27

	<u>Página</u>
III.2.3.7. Dureza.....	27
III.2.3.8. Corte o cizallamien- to paralelo a las fibras.....	27
• III.2.4. <u>Análisis estadístico</u>	29
III.2.5. Estudio de regresión de propiedades mecánicas sobre Peso específico aparente.....	29
III.2.6. <u>Corrección por humedad</u>	29
IV. <u>RESULTADOS</u>	31
V. <u>CONCLUSIONES</u>	50
VI. <u>RESUMEN</u>	53
VII. <u>SUMMARY</u>	54
VIII. <u>APENDICE</u>	55
IX. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	66

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

<u>Cuadro N°</u>		<u>Página</u>
1	Resultados de estudios de regresión de algunas propiedades mecánicas contra peso específico aparente en <i>Pinus elliottii</i> de U.S.A.....	7
2	Peso específico aparente de <i>Pinus elliottii</i>	13
3	Contracción de <i>Pinus elliottii</i>	16
4	Valores obtenidos para propiedades mecánicas de <i>Pinus elliottii</i> en distintos países.	21
5	Peso específico aparente anhidro.....	32
6	Peso específico aparente básico.....	32
7	Contracción normal tangencial.....	33
8a	Contracción normal radial.....	33
8b	Contracción normal longitudinal.....	34
9	Contracción normal volumétrica.....	35
10	Contracción tangencial total.....	35
11	Contracción radial total.....	36
12	Contracción longitudinal total.....	36
13	Contracción volumétrica total.....	37
14	Flexión estática módulo de elasticidad.....	38
15	Flexión estática módulo de ruptura.....	39
16	Flexión dinámica.....	40
17	Compresión paralela.....	40
18	Tracción perpendicular a las fibras.....	41
19	Hendimiento.....	41
20	Compresión perpendicular de las fibras.....	42

<u>Cuadro N°</u>		<u>Página</u>
21	Dureza.....	42
22	Corte paralelo al grano.....	45
23	Resumen de resultados.....	46
24	Resultados del estudio de regresión de propiedades mecánicas sobre peso específico aparente básico.....	48
25	Análisis de la varianza de la regresión del MOE sobre peso específico aparente básico..	48
26	Análisis de la varianza de la regresión del MOR sobre el peso específico aparente básico.....	48
27	Análisis de la varianza de la regresión de compresión paralela sobre peso específico aparente básico.....	49

Figura N°

1	Probeta utilizada en el ensayo de compresión paralela a las fibras.....	28
2	Probeta utilizada en el ensayo de corte o cizallamiento paralelo a las fibras.....	28

I. INTRODUCCION

La utilización racional de la madera en todas sus aplicaciones requiere, para ser eficiente, un conocimiento profundo de ésta. En nuestro país, este conocimiento no es completo ni está sistematizado y por lo tanto, la utilización de la madera se hace en base a conocimientos empíricos, estudios parciales en algún tipo de producción, o en base a estudios realizados en otros países, cuyas maderas pueden diferir notablemente de las obtenidas a partir de árboles crecidos en nuestro territorio.

Si se quiere desarrollar técnica y científicamente una industria de la madera nacional, es entonces imprescindible dar los pasos necesarios para adquirir un conocimiento acabado de las características de las especies que se producen en el país.

El presente trabajo se propone dar los primeros pasos en el conocimiento de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus elliotii*, una de las especies recomendadas para su producción en el país por la ley N° 13.723. Para lograr esto se hace un estudio preliminar tendiente a establecer valores promedio y medidas de la variabilidad de las principales propiedades y se estudian algunas correlaciones entre propiedades que pueden facilitar los estudios futuros.

Los datos obtenidos podrán ser utilizados directamente en la obtención de recomendaciones técnicas para la utilización de la madera en forma inmediata, teniendo en cuenta

ta las limitaciones impuestas por la precisión del trabajo, o en futuras investigaciones, que lleven a un estudio exhaustivo de las propiedades de la especie.

Es necesario destacar que se debieron adaptar los ensayos a las condiciones de recursos y maquinaria de que se dispone en nuestro país. Es así, que en algunos casos, fue posible usar en todo o en parte métodos de ensayo adoptados por el Instituto Uruguayo de Normas Técnicas y en otros se debieron adoptar normas extranjeras. Esto hace que los resultados obtenidos sólo sean comparables con los de ensayos realizados mediante las mismas normas.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

II.1. MUESTREO

Se ha estudiado mucho en los últimos años, el desarrollo de procedimientos de muestreo que permitieran una determinación económica de las propiedades físicas y mecánicas de la madera a través de estimaciones de sus medias y variabilidad.

En un principio (y en algunos casos hasta hoy) se han seguido planes de muestreo sistemático en la investigación de productos forestales. Este tipo de muestreo sistemático es, por ejemplo, prescrito por la norma ASTM 143-52, la cual establece cuales trozas deben ser muestreadas de acuerdo a la altura comercial del árbol y en cual forma se deben obtener las probetas de cada troza. En cuanto al número de árboles, sólo dice que se deben tomar como mínimo cinco árboles.

Este plan de muestreo sistemático se basa en la suposición de que la variabilidad de las propiedades es mayor dentro de un árbol que entre árboles distintos.

Pearson y Williams (1958), Kramber y Snodgrass (1967), Lauricio y De la Cruz (1969), citados por Noak (1970), han demostrado que la variación de las propiedades entre árboles es igual o más significativa que la variación dentro del mismo árbol. De ahí entonces que los valores promedio se obtienen con una precisión mucho mayor tomando más árboles en la muestra y menos probetas de cada árbol. Además, se comete un

error sistemático, porque las probetas obtenidas de las partes exteriores del árbol, representan un volumen de madera mayor que el de probetas cercanas a la médula.

Con la finalidad de obtener resultados insesgados y para permitir el cálculo del error de los estimadores de la media de las especies, es estadísticamente necesario que cada parte usable o comercializable del tronco tenga igual probabilidad de ser tomada como muestra. El muestreo de las probetas debe entonces hacerse al azar y en proporción al volumen.

Podemos decir entonces que el muestreo sistemático no es adecuado a la realidad. Esta comprobación es también la que ha hecho variar la forma de trabajo de los investigadores estadounidenses; Bendtsen (1972) describe un método de muestreo al azar desarrollado a partir de la norma ASTM E 105, la cual recomienda el muestreo aleatorio para estimar las propiedades de un lote, pila o cargamento de materiales. El método descrito sirve para, a través de un muestreo aleatorio, obtener estimadores insesgados de las propiedades mecánicas de especies forestales. Todos los árboles comercializables a través del rango de crecimiento de la especie, se consideran como un lote de material. El método tiene diversas etapas en las que la selección se hace con probabilidad de elección aproximadamente proporcional al volumen.

Este muestreo aleatorio es también recogido como forma de trabajo por las normas panamericanas COPANT 458, uruguayas UNIT 361-74 y también es usado en Australia y países del Commonwealth, Mack (1979).

Desde el punto de vista teórico, no hay problemas en llevar adelante un muestreo aleatorio, pero en la práctica se hace a veces imposible la selección absolutamente al azar por problemas económicos, de inaccesibilidad, etc. Esto obliga a establecer algunas concesiones entre el muestreo aleatorio requerido y el sistemático, cuando aquél se hace imposible, Noack (1970).

Una gran ventaja del muestreo aleatorio es que puede hacerse progresivamente; en una primera etapa se pueden seleccionar los árboles más accesibles y en etapas posteriores se pueden agregar árboles adicionales. De esta manera la precisión de los valores promedio se puede aumentar a lo largo del tiempo.

El tamaño de la muestra depende de la variabilidad de la propiedad a analizar y de la precisión con que se desee estimar la media de la especie. Además, depende de los costos relativos de la obtención del árbol en el bosque y la preparación y ensayo de las probetas individuales; por lo cual, la elección depende de las condiciones de cada país y cada proyecto en particular.

En la práctica, se ha demostrado que es más económico tomar sólo una o dos probetas de cada árbol muestreado, Pearson (1952) citado por Hellawell (1956); Hoheisel (1965).

En caso de tomarse más de una probeta por árbol, se puede lograr también una estimación de la variabilidad de las propiedades dentro del árbol.

El tamaño de la muestra debe determinarse siempre por métodos estadísticos, para lo cual se necesita una noción de la variabilidad de la propiedad, sea de otros estudios o de muestreos preliminares. Si la muestra es insuficiente, los datos obtenidos a partir de ella servirán para calcular el tamaño de la muestra para la precisión requerida, Hoheisel (1965), Hellowell (1956).

El propósito práctico de un estudio primario y de orientación sobre una propiedad de la madera, aconseja trabajar con una seguridad estadística del 95% y un intervalo de confianza de más o menos 15 por ciento, Noack (1970); norma CO PANT, 458, siendo necesarios como mínimo cinco árboles.

Para estudios más intensivos, con un intervalo de confianza de más o menos 10 por ciento se necesitan de diez a doce árboles y para estudios que requieran una confianza de más o menos el cinco por ciento se necesita una muestra de veinte a treinta árboles, Noack (1970).

Es importante establecer si algunas propiedades de la madera están correlacionadas a otras; de esta manera el volumen de ensayos puede ser reducido ya que sólo es necesario medir una de las dos propiedades correlacionadas.

Se sabe que un buen número de propiedades mecánicas están correlacionadas con el peso específico.

El módulo de elasticidad y el de ruptura en flexión estática están también muy correlacionados, Noack (1970).

También es fuerte la correlación entre propiedades medidas en madera verde y madera con contenidos de humedad de equilibrio, Noack (1970).

En todos estos casos el trabajo puede verse facilitado midiendo sólo aquellas propiedades que se pueda inferir las propiedades correlacionadas.

Bendtsen, Ethington y Galligan (1975), llevaron adelante estudios de este tipo para los pinos del sur de Estados Unidos. Apoyándose en datos del "Wood density Survey" (que tiene parcelas de muestreo permanente de peso específico), en los datos de propiedades mecánicas de la literatura anterior y de nuevos muestreos, han establecido los coeficientes de correlación y desarrollado ecuaciones de regresión lineal usando el peso específico como variable independiente para estimar las propiedades mecánicas, siguiendo la norma ASTM D 2555.

Cuadro N° 1. Resultados de estudios de regresión de algunas propiedades mecánicas contra peso específico aparente en *Pinus elliottii* de U.S.A.

Propiedad	a^1	b^1	Coefficiente de correlac.	N° de especímenes	Desviación estándar de la regresión
Módulo de elasticidad	198	2492	0,52	199	252
Módulo de ruptura	47	16152	0,87	199	551
Compresión paralela al grano	778	5690	0,63	198	423

(aclaraciones del Cuadro N° 1)

1. Coeficientes en la ecuación $Y = a+bX$, donde Y es la propiedad mecánica (expresada en miles de libras por pulgada cuadrada para el módulo de elasticidad y en libras por pulgada cuadrada para las otras) y X es peso específico aparente.

Fuente: BENDTSEN, B.A.; ETHINGTON, R.L. and GALLIGAN, W.L. Properties of major southern pines. Structural properties and specific gravity. USDA Forest service. Research paper FPL 176-177. 1975.

II.2. PROPIEDADES FISICAS

II.2.1. Peso específico

Al hablar de peso específico en maderas se debe tener en cuenta que ésta es un material poroso que contiene aire en su interior, de manera que debe distinguirse entre el peso específico de la madera y su peso específico aparente. El peso específico es la relación de la madera sólida (sin poros) y el volumen que ocupa.

El peso específico aparente toma en cuenta o en consideración el volumen y el peso de la madera con poros, siendo importante hacer constar en que condiciones de humedad se midieron ambos.

La madera está formada por células tubulares. Las cavidades celulares contienen en su mayor parte aire y agua, las paredes celulares están formadas por la verdadera sustancia leñosa que tiene aproximadamente el mismo peso específico pa

ra todas las especies. Sin embargo, diferentes especies tienen distintas características de crecimiento y estas diferencias pueden encontrarse aún dentro de la misma especie. Como resultado de esto, el tamaño y arreglo de las células y el grosor de las paredes celulares varía, ocasionando las variaciones intra e interespecíficas del peso específico aparente.

Frecuentemente se mide el peso específico aparente en maderas que contienen gran cantidad de extractivos, lo cual resulta en una sobreestimación de la cantidad de sustancia leñosa presente en las muestras, sobre todo en especies que como la que nos ocupa tienen gran cantidad de resina. Como es dado esperar, aumentos en la cantidad de sustancia leñosa por unidad de volumen, son acompañados por aumentos en la resistencia a esfuerzos mecánicos; pero cuando el aumento en el peso específico aparente se debe a la presencia de sustancias que están dentro de las cavidades celulares, la relación no se mantiene, ya que la presencia de esas sustancias aumenta el peso específico aparente pero no la resistencia, Koch (1972).

II.2.1.1. *Variación del peso específico aparente dentro de la especie.* Varios estudios acerca de los pinos del sur de U.S.A., han demostrado una correlación positiva entre el peso específico aparente y el porcentaje de leño tardío, Koch (1972).

Larson (1975) citado por Koch (1972), en un estudio acerca de los efectos del ambiente sobre el peso específico de *Pinus elliotii*, encontró que el sesenta por ciento de la variación total del peso específico se debía al porcentaje de leño tardío. Halló también relación entre el porcentaje de leño tardío y la edad del árbol; aquél pasaba de un cua

cento por ciento a los seis años a un sesenta por ciento a los veintiocho años y de allí en adelante tendía a ser uniforme. También estableció que el ancho de los anillos no tenía efecto esencial sobre el peso específico o sobre el porcentaje de leño tardío.

No encontró relación entre el porcentaje de leño tardío y densidad de plantación, índice de sitio o duración de la estación de crecimiento. La única variable que pudo explicar la variación entre parcelas fue la capacidad de retención de humedad; los suelos más húmedos produjeron los menores porcentajes de leño tardío.

El porcentaje de leño tardío aumentó con el aumento de las precipitaciones de verano y disminuyó con el aumento de las lluvias de invierno.

Este autor concluye que las diferencias dentro de la especie persisten aún después de controlar todas las variables ambientales, lo cual se debería a diferencias genéticas entre árboles individuales.

El estudio citado anteriormente se hizo sobre plantaciones manejadas; otros autores citados por Koch (1972), señalan que existe correlación entre peso específico, edad y tasa de crecimiento en condiciones de crecimiento natural.

11.2.1.2. *Variación del peso específico aparente dentro de un árbol.* El peso específico aparente varía en el tronco a través de cada anillo de crecimiento: entre anillos de crecimiento adyacentes; con la posición radial dentro del tronco y con la altura del mismo.

II.2.1.3. *Variación dentro de un anillo de crecimiento.* El leño tardío en los pinos del sur de U.S.A. es de dos a tres veces más denso que el leño temprano.

II.2.1.4. *Variación según la posición en el tronco.* El peso específico del leño temprano está correlacionado negativamente con el número de anillos desde la médula; en cambio el del leño tardío muestra correlación positiva durante los primeros diez anillos. El peso específico de ambos combinados, aumenta rápidamente con la distancia radial desde la médula hasta los anillos cinco o diez y puede aumentar lentamente hasta el anillo treinta.

Cuando se compara el mismo anillo con respecto a la médula a distintas alturas, el peso específico muestra cambios menores. El peso específico del leño temprano es mayor cerca de la base del árbol. El peso específico del leño tardío entre los anillos cinco y quince alcanza un máximo entre los tres y seis metros sobre el nivel del suelo y disminuye lentamente con alturas adicionales.

El peso específico de anillos enteros de *Pinus elliotii*, está correlacionado negativamente con la altura, si se muestrea a la misma distancia en anillos desde la médula y a diferentes alturas.

II.2.1.5. *Métodos de determinación del peso específico aparente.* El peso específico aparente toma en consideración el volumen y el peso de la madera con poros; estos valores son medidos en diversidad de condiciones, siendo importante hacer constar en que condiciones de humedad se determinaron ambos. Entre las diversas formas de expresión del peso especí

fico aparente, deben preferirse aquellas cuyas condiciones sean fácilmente reproducibles. Por ejemplo la Norma UNIT 237-70 define las siguientes: $P_a = \frac{G_a}{V_a}$; $P_b = \frac{G_a}{V_b}$; $P_c = \frac{G_a}{V_c}$, donde:

- P_a : peso específico aparente anhidro
 P_b = peso específico aparente básico
 P_c = peso específico aparente corriente
 G_a : peso de la madera anhidra
 V_a : volumen de la madera anhidra
 V_b : volumen de la madera verde
 V_c : volumen de la madera con un contenido de humedad del 12%.

Para obtener estas medidas se usan generalmente probetas cúbicas de 20 mm de lado, cuyo volumen se mide con un volumenómetro de mercurio y cuyos contenidos de humedad se logran secándolas en estufa para anhidro o en salas de climatización para otros contenidos de humedad.

Walgren y Schumann (1972) describen el método usado por el USDA Forest Service en su Wood density survey. Las muestras son extraídas de árboles en pie por medio de tala-dros tipo Pressler; los pequeños cilindros son medidos con gran precisión para obtener su volumen verde y pesados luego de ser llevados a estado anhidro. Este método les permite un muestreo permanente y no necesitan apaar los árboles para obtener datos de su peso específico aparente.

Wilson e Ifju (1965) describen un Método usado en Canadá y Australia para obtener datos de peso específico a partir de micro especímenes cortados con micrótopo. Este método es adecuado para estudios más sofisticados, ya que permite obtener diferencias de peso específico aún dentro de un anillo de crecimiento individual.

Cuadro N° 2. Peso específico aparente de Pinus elliottii

Valor g/cm ³	Forma de expresión	
0,54	Peso específico aparente básico	(1)
0,51	Peso específico aparente básico	(2)
0,59	Peso específico aparente corriente	(1)
0,48	Peso específico aparente corriente medido al 15% contenido de humedad	(3)

1. U.S. Department of Agriculture. Wood Handbook. Forest products laboratory, Forest service, 1974.
2. BOLZA, E. and KLOOT, N.H. The mechanical properties of 56 Fijian timbers. CSIRO technological paper N° 63, 1972.
3. COSTA COELHO, L.C. Emprego da madeira de Pinus elliottii na construção civil. Secretaria da Agricultura, Instituto florestal. Boletín Técnico N° 6, S. Paulo, 1973.

11.2.2. Contracción

Las dimensiones de la madera permanecen estables cuando el contenido de humedad está por encima del punto de saturación de las fibras. En cambio por debajo de ese punto, las dimensiones varían según gane o pierda humedad; se hincha al ganar humedad y se contrae al perderla.

Estos cambios de dimensión, afectan el uso final de la madera, de ahí la importancia de conocer bien este fenómeno para tenerlo en cuenta al fabricar piezas u obras en las que se utilice madera.

La madera está compuesta por aproximadamente un setenta por ciento de celulosa y sustancias similares que tienen una gran afinidad por el agua y pueden adsorberla. Tenemos entonces en la madera: agua libre ocupando los espacios celulares y agua adsorbida por los materiales celulósicos. Al adsorber agua, las fibras de celulosa en la madera verde aparecen hinchadas. Cuando se pierde el agua de adsorción, tiene lugar la contracción.

La pérdida del agua libre, contenida en las cavidades celulares no ocasiona contracciones.

La madera es un material anisotrópico y esto se ve también en las características de la contracción. Se contrae mucho más en el sentido tangencial, alrededor de la mitad en sentido radial y sólo ligeramente en sentido longitudinal.

La contracción de la madera es afectada por cierto número de variables. En general la mayor contracción se asocia con una mayor densidad. El tamaño y forma de un trozo de madera influyen también en la contracción, así como la temperatura y la velocidad de secado.

En general se ha dado mayor importancia a la contracción volumétrica y a la que tiene lugar en los sentidos transversales por ser las mayores y las que producen efectos más visibles.

La contracción longitudinal es en general bastante pequeña, los valores promedio oscilan entre 0,1 y 0,2 por ciento para la mayoría de las especies. Algunas maderas atípicas, sin embargo, tienden a contraerse excesivamente en

sentido longitudinal. En efecto, la madera de reacción (de tensión en latifoliadas y de compresión en coníferas) así como la madera juvenil y la que tiene grano cruzado, tienden a contraerse excesivamente en sentido axial.

Ultimamente, debido a los avances tecnológicos en la confección de contrachapados y tableros de partículas, se ha hecho necesario un conocimiento mayor de la contracción longitudinal y se han desarrollado nuevos métodos para su medición. Hann R.A. (1969) explica uno de estos métodos y hace una revisión de los trabajos hechos sobre el tema.

La forma de medir la contracción varía según los países y las normas utilizadas. La norma francesa NF B 51-006 utiliza probetas cúbicas de 20 mm de lado, mide las contracciones lineales con calibrador y la volumétrica con volumétrico expresándolas como porcentaje de las medidas verdes.

La norma ASTM D 143 de U.S.A. usa probetas de 5x5x10 cm con la dimensión mayor en el sentido a medir.

La norma UNIT 363/74 y COPANT 462, usa probetas de 5x5x10 cm siendo la dimensión mayor en sentido axial.

Se determinan las contracciones de estado verde a seco al aire y de éste a anhidro. Sallénave (1957) dice que las cifras así obtenidas, permiten estimar dentro de ciertos límites el comportamiento de la madera en secado pero no permiten conocer de manera precisa los fenómenos complejos de la contracción. Sostiene que sólo se conoce lo que pasa entre tres contenidos de humedad y que el tamaño de las probetas, en el caso de las mayores, hace que el conte

nido de humedad medido sea el promedio de la humedad de la probeta y no su humedad homogéneamente distribuida. Propone la medida de la contracción a lo largo de todo el rango de contenidos de humedad y el uso de probetas de 4x4x1 cm con la dimensión menor en el sentido longitudinal. Lo pequeño de la dimensión axial permitiría un secado homogéneo, ya que es en ese sentido que se da la mayor parte del secado.

El mismo sistema fue usado en Méjico con *Pinus montezumae* Lamb. por Flamand (1964) pero tomando medidas a sólo cuatro contenidos de humedad

Cuadro N° 3. Contracción en *Pinus elliottii*

<u>Contracción, de madera verde a anhidra, en porcentaje</u>			
<u>Radial</u>	<u>Tangencial</u>	<u>Volumétrica</u>	
5,4	7,6	12,1	(1)
3,2	6,1	10,2	(2)
4,7	6,2	10,9	(3)
5,5	7,8	12,2	(4)
<u>Contracción de madera verde a seca al aire</u>			
2,8	3,7	6,5	(3)

1. U.S. Department of Agriculture. Wood Handbook. Forest products laboratory, Forest service, 1974.
2. COSTA COELHO, L.C. Empleo da madeira de *Pinus elliottii* na construcáo civil. Secretaria da agricultura, instituto florestal. Boletín técnico N° 6. S. Paulo. 1973.
3. BOOTH, H.E. Shrinkage of New South Wales timbers. New South Wales forestry commission, division of wood technology. Bulletin 3. 1964.

// sigue

(continuación Cuadro N° 3)

4. U.S. Department of Agriculture, Veneer species that grow in the United States, Forest service, Research paper FPL 167. 1972.
-

II.3. PROPIEDADES MECANICAS

La existencia de variaciones en las propiedades es común a todos los materiales. Este hecho se ve aumentado en la madera, que por ser un material biológico, está sujeto - durante su formación - a innumerables influencias que varían permanentemente (humedad, calidad de sitio, espaciamiento, etc.).

La madera, es, por otra parte, un material anisótropo, o sea que sus propiedades varían de acuerdo a la dirección que estemos considerando.

En el estudio de la madera se consideran tres ejes perpendiculares entre sí. El eje longitudinal, paralelo a las fibras; el eje radial, normal a los anillos de crecimiento y perpendicular a las fibras y el eje tangencial, perpendicular a las fibras pero tangente a los anillos de crecimiento.

En general, los valores de las propiedades mecánicas se obtienen de probetas pequeñas y libres de defectos, dejando fijas la mayor cantidad de variables posible, como contenido de humedad, dirección de los esfuerzos, temperatura, etc; de modo de hacer comparables distintos ensayos entre sí. Sin embargo, internacionalmente, se usan distintas normas de ensayo cuyos resultados no son comparables entre sí.

Las normas más conocidas son: las AFNOR, de la Association Francaise de Normalisation; ASTM, de la American Society for Testing and Materials; BSI, de la British Standard Institution. Hay además normas aceptadas por conjuntos de países como las COPANT, del Comité Panamericano de Normas Técnicas y las ISO de la International Standard Association.

Sus principales diferencias residen en el tamaño de las probetas de ensayo (20x20 mm de sección o 50x50 mm de sección) y en la forma de conducir el ensayo:

- a) con una velocidad determinada de la deformación y el aumento correspondiente de la carga;
- b) con un aumento determinado de la carga y la deformación correspondiente.

Los ensayos mecánicos tienen como fin determinar las resistencias que puede ofrecer un material determinado a los esfuerzos externos que se le apliquen.

Los datos obtenidos de estos ensayos tienen principalmente dos aplicaciones:

- a) la clasificación de maderas;
- b) el cálculo de fatigas de diseño.

Pudiéndose entonces proponer sus usos probables y dar los datos necesarios para el cálculo de estructuras de madera.

Para caracterizar una madera desde el punto de vista de sus propiedades mecánicas, es necesaria la realización

de los siguientes ensayos:

- 1) Ensayos mecánicos de cohesión axial
 - a) Compresión axial
 - b) Flexión estática
 - c) Flexión dinámica
 - d) Dureza axial

- 2) Ensayos mecánicos de cohesión transversal
 - a) Dureza transversal
 - b) Corte
 - c) Compresión normal a las fibras
 - d) Tracción perpendicular a las fibras
 - e) Clivaje

II.3.1. Factores que afectan las propiedades mecánicas

II.3.1.1. Duración del esfuerzo y tasa de deformación. El aumento del tiempo en que una carga es aplicada, está correlacionado negativamente con la carga que puede soportar con seguridad. Una pieza de madera cargada continuamente durante diez años, puede soportar solamente de un sesenta a un setenta y cinco por ciento de la carga que soportaría aplicada en un ensayo estándar de pocos minutos de duración, Koch (1972).

II.3.1.2. Temperatura. Existe una correlación negativa entre el incremento en la temperatura a que está sometida una madera y su resistencia. El efecto es inmediato y la magnitud del cambio está correlacionada positivamente con el con

tenido de humedad de la madera, (Koch, 1972)

II.3.1.3. *Peso específico.* Es un índice de la cantidad de sustancia de las paredes celulares contenida en un trozo de madera, por lo tanto, también está relacionado a la resistencia.

Bendtsen y Ethington (1972); desarrollaron regresiones lineales relacionando cinco propiedades mecánicas al peso específico de varios pinos, incluyendo la especie que nos ocupa.

II.3.1.4. *Contenido de Humedad.* A partir de la madera anhidra, a medida que aumenta su contenido de humedad, disminuye su resistencia hasta llegar al punto de saturación de las fibras. A partir de este punto en adelante, su comportamiento no tiene variaciones.

II.3.1.5. *Velocidad de crecimiento.* La propiedad en la que se han notado mayores diferencias entre las maderas provenientes de árboles de rápido crecimiento y otros de crecimiento lento, es en la de dureza. La dureza aparece siendo mayor en árboles de crecimiento lento (Koch, 1972).

II.3.1.6. *Edad.* Se ha comprobado una correlación positiva entre la edad del árbol y las diferentes propiedades mecánicas (Koch, 1972).

Cuadro N° 4. Valores obtenidos para propiedades mecánicas de Pinus elliottii en distintos países

	C de H	flexión estática		compresión paralela carga	hendidamiento	corte	dureza lateral
		MOE	MOR	de rotura			
	%	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm	kg/cm ²	kg/cm ²
(1)	-	73500	605	300	-	-	425
(2)	15	-	699	-	-	-	-
(2)	verde	-	430	-	4,2	55	-
(3)	verde	61161	491	218	-	-	-
(3)	12	77330	881	436	-	-	-
(4)	verde	107559	612	260	H	-	-
(4)	12	139,191	1143	572	-	-	-
(5)	12	144818	1118	640	-	122	460

1. COZZO, D. Arboles forestales, maderas y silvicultura de la Argentina. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Fascículo 16-1 ACME Buenos Aires 1975.
2. COSTA COELHO, L.E. Empleo de madeira de Pinus elliottii na construccao civil. Secretaria de Agricultura, Instituto florestal, San Pablo, 1973.
3. BOLZA, E. and KLOOT, N.H. The Mechanical properties of 56 Fijian timbers. CSIRO Division of forest products, Technological paper N° 62 - 1972.
4. U.S. Department of Agriculture - WOOD HANDBOOK - Agriculture handbook N° 72 - 1974.
5. U.S. Department of Agriculture - Veneer species that grow in the United States. Forest service research paper FPL 167.1972. // sigue

(continuación Cuadro N° 4)

NOTA: Los valores provenientes de las fuentes 3,4 y 5 fueron convertidos de libras por pulgada cuadrada a kg/cm^2 .

Debe tenerse presente que los valores fueron obtenidos utilizando las normas en uso en cada uno de los países y por lo tanto no son comparables.

III. MATERIALES Y METODOS

III.1. MATERIALES

Se utilizaron los siguientes materiales:

- Balanza eléctrica marca Mettler modelo PC 4400 con una apreciación de 0.01 gr.
- Estufa con circulación de aire fabricada por TEM S. A. para el Instituto de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería.
- Máquina universal Amsler capaz de efectuar una carga máxima de 4.000 kilos con una precisión de 1 kg.
- Máquina universal Amsler con capacidad de carga de 10.000 kg y una apreciación de 1 kg.
- Sierra de cinta Delta Milwaukee.
- Lijadora de disco Atlas.
- Desecadores
- Calibre marca Helios con una apreciación de $1/10$ de mm.
- Xilohigrómetro marca Trüb, Täuber y Cía. S.A.

III.2. METODOS

III.2.1. Muestreo

Se hizo siguiendo la norma UNIT 361-74, que se corres

ponde con la Norma COPANT 458. Se definió como población a muestrear la de todos los *Pinus elliottii* del territorio nacional, cuyo diámetro a la altura del pecho fuera igual o mayor de 30 cm, considerando que es en esta clase diamétrica que los árboles empiezan a ser utilizados comercialmente en nuestro país.

III.2.1.1. *Precisión.* Ante la falta de datos de la variabilidad de las propiedades estudiadas, se decidió tomar una muestra de cinco árboles, que es el número mínimo recomendado por la norma COPANT 458 para obtener una seguridad estadística del 95 por ciento y un intervalo de confianza de más o menos 15 por ciento.

III.2.1.2. *Selección de la zona.* Se identificaron seis plantaciones en las que había una cantidad importante de árboles con las características requeridas y se sortearon, con reposición, cinco zonas siendo éstas:

- a. Plantaciones de DYOYA S.A. en el departamento de San José.
- b. Plantaciones de la Caja de Jubilaciones y Pensiones Bancarias, en el departamento de Paysandú.
- c. Plantaciones de la Caja Notarial, en el departamento de Río Negro.
- d. Plantaciones de la Estación Experimental de Bañado de Medina, de la Facultad de Agronomía, en el departamento de Cerro Largo.
- e. Plantaciones de U.T.E. en el departamento de Tacuarembó.
- f. Plantaciones de U.T.U. en el departamento de Maldonado.

Salieron sorteadas las cinco primeras, de las cuales se extrajeron las muestras. Las características de los árboles y trozas incluídas en la muestra se detallan en el apéndice.

III.2.1.3. *Centro de actividad.* Una vez en la zona, se eligió el sector de plantación que, por su edad, podía cumplir con los requisitos. Luego se eligieron un rumbo y una distancia y el primer árbol con las condiciones necesarias fue apcado.

III.2.1.4. *Trozas.* Una vez elegido el árbol, se cortó en tantas trozas de 3.30 m como fue posible, hasta un diámetro superior de 15 cm. La troza a utilizar se sorteó, tomando en cuenta el volumen que cada una representaba dentro del fuste, como indica la norma.

III.2.1.5. *Viguetas.* Seleccionada la troza se la llevó al aserradero más cercano, donde siguiendo la norma- se seleccionó la vigueta de 8 x 8 x 330 cm, la cual, embalada en polietileno, se envió al laboratorio del Instituto de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería.

III.2.1.6. *Probetas.* Se sacaron de cada vigueta, al azar, cinco probetas para la realización de cada ensayo, cuidando se que estuvieran libres de defectos. Las mismas fueron identificadas señalándolas mediante un número (1, 2, 3, 4, 5) que designa el árbol del cual provienen, seguido de una letra (A, B, C, D,) que designa la probeta.

III.2.2. Propiedades Físicas

III.2.2.1. Peso Específico Aparente. Siguiendo las indicaciones de la norma UNIT 237-70, se determinaron el Peso Específico Aparente anhidro y el Peso Específico aparente básico.

III.2.2.2. Contracción. Siguiendo la norma UNIT 363-74 se determinaron la contracción tangencial, radial, longitudinal y la volumétrica, determinándose las contracciones normal y total.

Según la norma se deben realizar tres mediciones que son:

- a. en estado verde
- b. al 12 por ciento de contenido de humedad
- c. en estado anhidro.

Ante la imposibilidad de acondicionar las probetas en un ambiente climatizado, la lectura de la humedad de equilibrio se realizó de la siguiente manera: se dejaron secar las probetas y dos testigos en el ambiente del laboratorio y se controló en las testigo por medio de un xilohigrómetro su contenido de humedad. Las medidas de contracción se realizaron cuando las testigo estaban entre un doce y dieciséis por ciento de humedad.

III.2.3. Propiedades Mecánicas

III.2.3.1. Flexión estática. Se siguió la norma AFNOR NF

B 51-008, determinándose el módulo de ruptura (MOR) y el módulo de elasticidad, calculado este último a partir de la

fórmula MOE
$$\frac{P' \cdot L^3}{4 \cdot d \cdot bh^3}$$

Donde: P' Carga en el límite de proporcionalidad
 L Distancia entre apoyos
 d Valor de la deformación en el límite de proporcionalidad (flecha)
 b Ancho de la probeta
 h Altura de la probeta

III.2.3.2. Flexión Dinámica. Se realizaron los ensayos siguiendo la norma AFNOR NF. B-51-009;

III.2.3.3. Compresión Paralela. Para su determinación se siguió lo indicado por la norma AFNOR NF B-51-007.

III.2.3.4. Tracción perpendicular a las fibras o doble hendimiento. Se siguió la norma AFNOR NF B-51.010.

III.2.3.5. Hendimiento. Se siguió la norma AFNOR B 51-011.

III.2.3.6. Compresión perpendicular a las fibras. Se realizaron los ensayos sobre probetas del tamaño de las de compresión paralela, pero variando la dirección de las fibras, midiendo la carga de ruptura (ver Figura N° 1).

III.2.3.7. Dureza. Se siguió la norma UNIT 364-74.

III.2.3.8. Corte o Cizallamiento Paralelo a las fibras. De acuerdo a los accesorios con que contaba la máquina para rea-

Figura N° 1. Probeta utilizada en el ensayo de compresión perpendicular a las fibras.

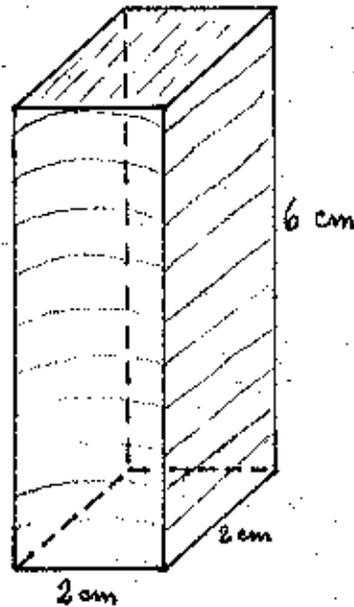
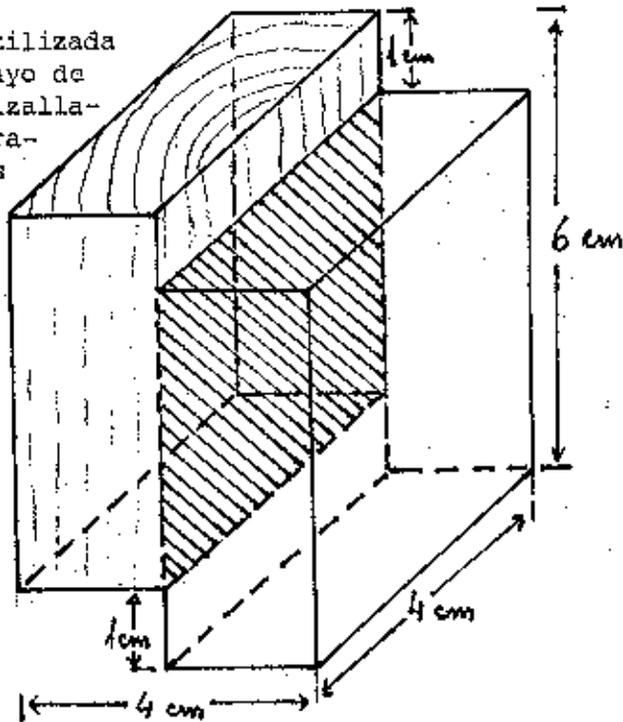


Figura N° 2. Probeta utilizada en el ensayo de corte o cizallamiento paralelo a las fibras.

La zona rayada representa la superficie de corte.



lizar el ensayo, se hicieron las probetas, según la forma y medidas que se muestran en la figura N° 2. El plano de clivaje fue tangencial a los anillos de crecimiento.

III.2.4. Análisis estadístico

Se realizó siguiendo el esquema 1° de norma COPANT 30:1-012 1972.

III.2.5. Estudio de regresión de propiedades mecánicas sobre Peso específico aparente

Se determinaron los coeficientes a y b de líneas de regresión de la forma $Y = a + bx$, donde Y es la estimación de la propiedad mecánica y la variable independiente X es el peso específico aparente básico.

También se determinaron el coeficiente de correlación (r) y la desviación estándar de la regresión.

Se realizó este estudio para las siguientes propiedades mecánicas: Módulo de elasticidad en flexión, Módulo de ruptura en flexión y Compresión paralela al grano.

III.2.6. Corrección por humedad

Ante la ya mencionada imposibilidad de climatizar las probetas, éstas se dejaron secar en el ambiente del laboratorio, controlándose el contenido de humedad de probetas testeado por medio de xilohigrómetro. Los ensayos se realizaron cuando las lecturas del instrumento estaban entre el doce y el quince por ciento de contenido de humedad. Una vez

realizados los ensayos se determinó el contenido de humedad exacto de cada probeta y se corrigieron los resultados, llevándolos al doce por ciento mediante el método aproximado descrito por MACK, J.J., 1979; según el cual cuando los datos disponibles son insuficientes para la determinación de valores correctivos según las fórmulas exactas se asumen las siguientes correcciones promedio por cada 1% de diferencia en el contenido de humedad con respecto al 12%.

Flexión estática - módulo de ruptura 4%
 - módulo de elasticidad 1.5%

Compresión paralela - carga máxima 5%
 al grano

Compresión perpendicular
 al grano - 5%
 Hendidamiento - 2%
 Cizallamiento - 3%
 Dureza - axial 4%
 -tangencial y
 radial 3%

Con el método las correcciones son aditivas si en el momento del ensayo el contenido está por encima del 12% y sustractivas si está por debajo.

En el caso del ensayo de flexión dinámica, su resultado no puede ser corregido.

Al efectuar este ajuste se llevaron los valores aproximados al centésimo.

IV. RESULTADOS

En las páginas que siguen se exponen, en forma de cuadros, los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos. Estos cuadros presentan el valor individual que resulta del ensayo de cada probeta y los siguientes valores del análisis estadístico de la muestra:

- \bar{x} : Valor promedio de cada árbol.
- $\bar{\bar{x}}$: Valor promedio total de todos los valores individuales.
- s : Estimación de la desviación típica dentro de cada árbol.
- s_1 : Estimación de la desviación típica entre árboles.
- s_t : Estimación de la desviación típica de todos los valores individuales alrededor del promedio total.
- cv_1 : Coeficiente de variación para la varianza de los valores individuales entre árboles.
- cv_t : Coeficiente de variación total para la varianza de los valores individuales alrededor del promedio total.
- $\bar{x} \pm q$: Intervalo de confianza para el valor promedio total, para una seguridad estadística del 95 por ciento.
- $\frac{+}{-} p$: Valor relativo del intervalo de confianza.

Se presentan, también en forma de cuadro, los resultados obtenidos de los estudios de regresión de propiedades mecánicas sobre Peso específico aparente básico, y sus correspondientes análisis de varianza.

Cuadro N° 5. Peso específico aparente anhidro (gr/cm³)

Arbol	1	2	3	4	5
Albeta					
A	0,39	0,54	0,38	0,57	0,47
B	0,45	0,55	0,39	0,58	0,44
C	0,38	0,59	0,38	0,58	0,42
D	0,39	0,53	0,37	0,40	0,46
E	0,40	0,60	0,39	0,46	0,45
\bar{x}	0,40	0,56	0,38	0,52	0,45
S	0,03	0,03	0,01	0,08	0,02

$$\bar{x} = 0,46$$

$$S1 = 0,17$$

$$CV1 = 37,41$$

$$x \pm q = 0,46 \pm 0,096$$

$$S2 = 0,04$$

$$CV2 = 7,38$$

$$100 \pm 20,80\%$$

$$St = 0,08$$

$$CVt = 17,37$$

Cuadro N° 6. Peso específico aparente básico (gr/cm³)

Arbol	1	2	3	4	5
Albeta					
A	0,35	0,50	0,35	0,51	0,42
B	0,50	0,50	0,35	0,53	0,40
C	0,35	0,54	0,35	0,52	0,38
D	0,36	0,49	0,34	0,38	0,43
E	0,40	0,56	0,36	0,42	0,42
\bar{x}	0,39	0,52	0,35	0,47	0,41
S	0,06	0,03	0,01	0,07	0,02

$$\bar{x} = 0,43$$

$$S1 = 0,15$$

$$CV1 = 34,98\%$$

$$x \pm q = 0,43 \pm 0,084$$

$$S2 = 0,04$$

$$CV2 = 8,78\%$$

$$St = 0,07$$

$$CVt = 17,04\%$$

$$100 \pm 19,45\%$$

Cuadro N° 7. Contracción normal tangencial (%)

Arbol					
Probeta	1	2	3	4	5
A	4,20	2,35	1,80	3,70	3,17
B	3,71	3,09	1,96	3,33	2,35
C	3,90	2,39	1,80	3,11	2,15
D	3,24	3,58	2,38	3,54	1,96
E	3,82	2,02	2,02	4,22	1,97
\bar{X}	3,77	2,79	1,99	3,58	2,32
S	0,35	0,53	0,47	0,84	1,00

$\bar{X} = 2,89$
 $S1 = 1,73$
 $St = 0,80$
 $\bar{X} \pm q = 2,89 \pm 0,96$

Cuadro N° 8a. Contracción normal radial (%)

Arbol					
Probeta	1	2	3	4	5
A	3,14	2,16	1,20	2,19	1,03
B	3,20	1,18	0,78	2,13	1,20
C	2,01	2,20	0,60	2,36	1,18
D	3,09	2,18	0,60	2,72	0,79
E	2,95	2,72	0,80	2,81	1,39
\bar{X}	2,88	2,09	0,80	2,44	1,12
S	0,49	0,56	0,24	0,31	0,22

$\bar{X} = 1,87$
 $S1 = 1,07$
 $St = 0,88$
 $\bar{X} \pm q = 1,87 \pm 1,09$

Cuadro N° 8b. Contracción normal longitudinal

Arbol					
Probeta	1	2	3	4	5
A	0,00	0,10	0,30	0,00	0,50
B	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20
C	0,30	0,00	0,20	0,40	0,00
D	0,20	0,10	0,60	0,30	0,20
E	0,10	0,10	0,20	0,00	1,29
\bar{X}	0,14	0,08	0,28	0,18	0,44
S	0,11	0,04	0,19	0,18	0,51

$$\bar{X} = 0,22$$

$$S_1 = 0,31$$

$$S_t = 0,27$$

$$\bar{X} \pm q = 0,22 \pm 0,17$$

Cuadro N° 9. Contracción volumétrica normal [%]

Arbol						
Probeta	1	2	3	4	5	
A	7,34	4,60	3,30	5,89	4,70	
B	7,10	4,37	3,73	5,66	3,75	
C	6,21	4,59	2,60	5,87	3,33	
D	6,49	5,86	3,58	6,56	2,95	
E	6,85	5,38	3,02	7,03	4,65	
\bar{X}	6,80	4,96	3,25	6,20	3,88	
S	0,45	0,63	0,45	0,57	0,78	
$\bar{X} = 5,02$		$\bar{X} \pm q = 5,02 \pm 1,86$				
S1 = 3,35		St = 1,47				

Cuadro N° 10. Contracción tangencial total [%]

Arbol						
Probeta	1	2	3	4	5	
A	6,40	6,46	4,61	6,81	5,95	
B	5,66	4,83	4,51	5,69	5,49	
C	6,05	5,99	4,39	4,85	5,87	
D	5,72	6,96	5,15	5,30	5,11	
E	7,04	6,50	4,64	5,83	5,13	
\bar{X}	6,17	6,15	4,66	5,70	5,51	
S	0,57	0,81	0,29	0,73	0,39	
$\bar{X} = 5,64$		$\bar{X} \pm q = 5,64 \pm 0,77$				
S1 = 1,38						
St = 0,78						

Cuadro N° 11. Contracción radial total (%)

Arbol					
Probeta	1	2	3	4	5
A	4,31	5,11	2,59	3,99	3,28
B	4,40	3,54	2,13	3,68	3,20
C	3,42	4,61	0,99	3,54	4,54
D	4,06	4,17	2,39	4,27	3,37
E	4,12	4,67	2,21	4,82	3,18
\bar{X}	3,62	4,42	2,06	4,06	3,51
S	0,38	0,59	0,62	0,51	0,58
$\bar{X} = 3,62$					
$S1 = 2,08$					
$St = 0,98$					
$\bar{X} \pm q = 3,62 \pm 1,16$					

Cuadro N° 12. Contracción longitudinal total (%)

Arbol					
Probeta	1	2	3	4	5
A	0,40	0,10	0,50	0,30	0,80
B	0,20	0,20	0,79	0,30	0,30
C	0,60	0,10	0,40	0,80	0,30
D	0,40	0,40	0,90	0,50	0,50
E	0,39	0,20	0,50	0,10	1,58
\bar{X}	0,40	0,20	0,62	0,40	0,70
S	0,14	0,12	0,21	0,26	0,53
$\bar{X} = 0,46$					
$S1 = 0,44$					
$St = 0,32$					
$\bar{X} \pm q = 0,46 \pm 0,25$					

Cuadro N° 13. Contracción volumétrica total [%]

Probeta	Arbol	1	2	3	4	5
A		11,11	11,67	7,70	11,10	10,03
B		10,26	8,57	7,43	9,67	8,96
C		10,07	10,70	5,78	9,19	10,71
D		10,18	11,53	8,44	10,07	8,98
E		11,55	11,37	7,35	10,75	9,89
\bar{X}		10,63	10,77	7,34	10,16	9,71
S		0,66	1,28	0,97	0,78	0,75
$\bar{X} = 9,72$						
S1 = 3,12		$\bar{X} \pm q = 9,72 \pm 1,73$				
St = 1,52						

Cuadro N° 14. Flexión estática. Resultados corregidos al
12% CH (kg/cm²)

Arbol	1	2	3
Probeta	MOE	MOE	MOE
A	32.847,01	36.328,17	43.930,38
B	30.711,69	40.137,16	50.764,00
C	44.258,06	39.166,31	58.473,33
D	36.198,75	41.217,16	40.274,83
E	60.053,58	26.031,89	47.357,66
\bar{X}	40.813,84	36.558,14	48.160,00
S	11.925,36	6.168,93	6.961,59

Arbol	4	5
Probeta	MOE	MOE
A	28.063,64	28.670,76
B	36.037,87	32.493,53
C	35.563,68	25.652,78
D	42.875,00	30.462,69
E	64.312,50	27.077,97
\bar{X}	41.370,54	28.871,55
S	13.854,85	2.705,00

M O E

$$\bar{X} = 39.158,42$$

$$S_1 = 15.860,39$$

$$S_2 = 8.323,15$$

$$S_T = 10.641,37$$

$$CV_1 = 40,50$$

$$CV_2 = 21,25$$

$$CV_T = 27,17$$

$$\bar{X} \pm q = 15.860,39 \pm 8.818,37$$

$$100 \pm 22,52\%$$

Cuadro N° 15. Flexión estática. Resultados corregidos al 12% CH (kg/cm²)

Arbol	1	2	3
Probeta	MOR	MOR	MOR
A	609,81	808,08	561,40
B	480,58	572,67	651,00
C	661,50	742,56	658,40
D	526,67	652,05	598,50
E	686,99	464,94	596,50
\bar{X}	593,12	648,06	613,16
S	87,82	135,80	40,77

Arbol	4	5
Probeta	MOR	MOR
A	585,37	515,96
B	536,75	478,66
C	589,69	513,24
D	582,75	436,80
E	916,12	485,94
\bar{X}	642,14	486,12
S	164,55	32,07

M O R

$$\bar{X} = 596,52$$

$$S_1 = 123,56$$

$$S_2 = 92,202$$

$$S_T = 111,27$$

$$CV_1 = 20,71$$

$$CV_2 = 15,46$$

$$CV_T = 18,65$$

$$\bar{X} \pm \sigma = 596,52 \pm 68,69$$

$$100 \pm 11,52\%$$

Cuadro N° 16. Flexión dinámica - Kgm

Probeta	Arbol				
	1	2	3	4	5
A	0,65	1,90	0,85	0,70	0,70
B	0,75	1,20	0,80	0,80	1,20
C	0,55	1,60	0,95	0,50	0,60
D	0,35	1,40	0,85	1,40	1,00
E	0,85	1,40	0,80	0,70	1,10
\bar{X}	0,63	1,50	0,85	0,82	0,92
S	0,19	0,26	0,06	0,34	0,26
$\bar{X} = 0,94$		CV1 = 78,19%	$X \pm \sigma = 0,94 \pm 0,41$		
S1 = 0,735		CV2 = 33,08%	100 \pm 43,47%		
S2 = 0,311		CVt = 39,68%	St = 0,373		

Cuadro N° 17. Compresión paralela [Kg/cm²]

Resultados corregidos al 12% de contenido de humedad

Probeta	Arbol				
	1	2	3	4	5
A	276,19	273,50	278,43	232,91	288,55
B	293,56	273,34	253,08	276,45	284,95
C	259,52	268,57	225,00	271,78	245,00
D	278,97	200,95	293,78	269,66	205,61
E	271,80	212,80	206,25	244,84	210,52
\bar{X}	276	245,83	251,31	259,13	246,93
S	12,31	35,86	36,28	19,12	39,42
$\bar{X} = 255,84$		CV1 = 10,86	$X \pm \sigma = 255,84 \pm 6,04$		
S1 = 27,78		CV2 = 11,18	100 \pm 2,36		
S2 = 28,60		CVt = 11,77			
St = 30,12					

Cuadro N° 18. Tracción perpendicular a las fibras (kg/cm²)

Resultados corregidos al 12% contenido de humedad					
Arbol					
Probeta	1	2	3	4	5
A	16,94	26,23	18,00	25,40	21,09
B	16,27	27,03	13,72	18,07	19,73
C	27,61	23,84	14,07	24,55	23,86
D	19,32	36,44	14,32	33,25	30,34
E	18,60	28,06	14,86	24,50	21,14
\bar{X}	19,75	28,32	14,99	25,15	23,23
S	4,56	4,80	1,73	5,39	4,25
$\bar{X} = 22,29$					
$S_1 = 11,46$	CV1 = 51,41	$X \pm q = 22,29 \pm 6,37$			
$S_2 = 4,15$	CV2 = 18,62	$100 \pm 28,58\%$			
St = 6,13	CVt = 27,50				

Cuadro N° 19. Hendimiento corregido al 12% CH (kg/cm)

Arbol					
Probeta	1	2	3	4	5
A	15,75	19,38	11,83	20,58	19,60
B	10,12	17,16	16,10	20,09	21,21
C	10,58	20,91	13,63	20,09	18,02
D	10,12	21,42	11,86	20,79	21,28
E	11,50	19,89	11,50	20,09	19,84
\bar{X}	11,61	19,75	12,98	20,33	19,99
S	2,38	1,66	1,93	0,33	1,34
$\bar{X} = 16,93$					
$S1 = 9,54$	CV1 = 56,35	$X \pm q = 16,93 \pm 5,30$			
$S2 = 1,53$	CV2 = 9,04				
St = 4,18	CVt = 24,69	$100 \pm 31,2\%$			

Cuadro N° 20. Compresión perpendicular a las fibras (kg/cm²)

Arbol					
Probeta	1	2	3	4	5
A	56,30	52,96	62,68	47,20	57,86
B	53,86	68,16	63,13	46,82	66,21
C	51,36	52,94	65,63	42,89	44,55
D	57,58	56,93	68,25	47,26	36,58
E	56,71	67,57	68,88	48,70	34,32
\bar{X}	55,12	59,71	65,71	46,57	47,90
S	2,49	7,62	2,84	2,18	13,76

$\bar{X} = 55,00$		
S1 = 17,97	CV1 = 32,67	$X \pm q = 55 \pm 11,1$
S2 = 5,78	CV2 = 10,50	$\pm p = \pm 18,15\%$
St = 9,91	CVt = 18,01	

Cuadro N° 21. Dureza.Resultados ajustados al 12% de contenido de humedad (Kg/cm²)

Probeta	Arbol 1	Promedio caras tangenciales	Promedio caras radiales	Promedio extremos
A		182,90	224,20	372,00
B		318,60	306,80	437,10
C		279,00	297,60	481,80
D		233,32	159,64	319,48
E		219,42	335,22	510,34
\bar{X}		246,64	264,69	424,14
S		52,93	71,60	78,41

// sigue...

(continuación Cuadro N° 21)

Resultados ajustados al 12% de contenido de humedad (Kg/cm²)

Probeta	Arbol 2	Promedio caras tangenciales	Promedio caras radiales	Promedio extremos
2A		417,45	417,45	710,40
2B		425,62	351,85	597,08
2C		382,40	412,27	532,35
2D		401,20	407,10	533,20
2E		379,22	384,88	533,31
\bar{X}		401,18	394,71	581,27
S		20,60	26,98	77,34

Arbol 3

3A		249,18	365,08	387,84
3B		423,16	405,28	576,24
3C		366,30	366,30	576,24
3D		386,25	420,84	562,87
3E		347,20	302,40	458,20
\bar{X}		354,42	371,98	492,76
S		65,20	45,87	77,92

Arbol 4

4A		406,70	390,10	387,84
4B		312,65	270,40	331,35
4C		293,55	231,75	436,80
4D		288,42	207,46	331,35
4E		373,20	287,67	345,24
\bar{X}		334,90	277,48	379,20
S		52,41	70,41	55,17

// sigue...

(continuación Cuadro N° 21)

Resultados ajustados al 12% de contenido de humedad (Kg/cm²)

Probeta	Arbol 5	Promedio caras tangenciales	Promedio caras radiales	Promedio extremos
5A		217,00	223,20	424,76
5B		168,49	156,87	352,16
5C		203,66	245,69	257,53
5D		182,41	220,15	338,66
5E		179,80	213,28	414,70
\bar{X}		190,27	211,82	357,56
S		19,62	33,02	67,40
S1		190,90	171,74	203,83
S2		42,15	49,58	71,25
St		88,55	85,15	105,94
CV1		62,49	56,47	21,93
CV2		13,80	16,30	15,94
CVt		28,99	28,00	23,70
\bar{X}		305,48	304,13	446,99
\bar{X}_{tq}		305,48 ⁺ 106,14	304,13 ⁺ 95,49	446,99 ⁺ 113,32
		$\pm p = \pm 34,74\%$	$\pm p = \pm 31,39\%$	$\pm p = \pm 25,35\%$

Cuadro N° 22. Corte paralelo al grano, corregido al 12% CH. [kg/cm²]

Arbol					
Probeta	1	2	3	4	5
A	108,75	131,81	109,50	83,40	90,36
B	77,34	120,56	110,41	107,27	74,60
C	114,60	116,47	119,31	144,32	87,62
D	101,14	127,68	127,02	62,66	88,82
E	83,63	139,0	113,00	88,97	95,37
\bar{X}	97,09	127,05	115,85	97,32	87,95
S	16,05	8,91	7,33	30,71	6,50

$$\begin{aligned} \bar{X} &= 104,93 & CV1 &= 33,96 & \bar{X} \pm \sigma &= 104,93 \pm 19,81 \\ S1 &= 35,64 & CV2 &= 13,25 & & \\ S2 &= 13,90 & Cvt &= 20,17 & & 100 \pm 18,88\% \\ St &= 21,17 & & & & \end{aligned}$$

Cuadro N° 23. Resumen de resultados

Propiedad	Unid.	\bar{X}	St	St ²	CV%	CV	$\bar{X} \pm q$	$\pm p$
Peso específico aparente anhidro	g/cm ³	0,46	0,17	0,08	37,41	17,37	0,46 [±] 0,096	20,80%
Peso específico aparente básico	g/cm ³	0,43	0,15	0,07	34,98	17,04	0,43 [±] 0,084	19,45
Flexión estática MOE	kg/cm ²	39158,42	15860,39	10641,37	40,50	27,17	15860,39 ± 8.818,37	22,52
MOR	kg/cm ²	596,52	123,56	111,27	20,71	18,65	596,52 [±] 68,69	11,52%
Flexión dinámica	Kg/m	0,94	0,73	0,37	78,19	39,68	0,94 [±] 0,41	43,47%
Compresión paralela	kg/cm ²	255,84	27,78	30,12	10,86	11,77	255,84 [±] 6,04	±2,36
Compresión normal	kg/cm ²	55,00	17,97	9,91	32,67	18,01	55 [±] 11,10	±18,16%
Corte paralelo	kg/cm ²	104,93	35,64	21,17	33,96	20,17	104,93 [±] 19,81	18,88%
Hendimiento	kg/cm	16,93	9,54	4,18	56,35	24,69	16,93 [±] 5,30	31,00%
Tiración normal	kg/cm ²	22,29	11,46	6,13	51,91	27,50	22,2 [±] 6,37	±28,58%
Caras tangen- ciales		kg	305,48	190,90	88,55	62,49	305 [±] 106,14	±34,74%
Caras radiales		kg	304,13	171,74	85,15	56,47	304 [±] 95,49	±31,39%
Extremos		kg	446,99	203,93	105,94	21,93	446,99 [±] 113,32	±25,35%

// sigue...

Propiedad	Unid.	\bar{X}	S_j	S_T	CV_j	CV_T	$\bar{X} \pm q$	$\pm p$
Tangencial normal	%	2,89	1,73	0,80	-	-	2,89 [±] 0,96	-
Radial normal	%	1,87	1,97	0,88	-	-	1,87 [±] 1,09	-
Longitudinal normal	%	0,22	0,31	0,27	-	-	0,22 [±] 0,17	-
Volumétrica normal	%	5,02	3,35	1,47	-	-	5,02 [±] 1,86	-
Contracción Tangencial total	%	5,64	1,38	0,78	-	-	5,64 [±] 0,77	-
Radial total	%	3,62	2,08	0,98	-	-	3,62 [±] 1,16	-
Longitudinal total	%	0,46	0,44	0,32	-	-	0,46 [±] 0,25	-
Volumétrica total	%	9,72	3,12	1,52	-	-	9,72 [±] 1,73	-

Cuadro N° 24. Resultados del estudio de regresión de propiedades mecánicas sobre peso específico aparente básico

Propiedad	a	b	r	N	S
Módulo de elasticidad	-11365,68	124812,56	0,64	25	33403,14
Módulo de ruptura	-98,51	1716,97	0,84	25	459,45
Compresión paralela	183,00	187,74	0,36	25	53,32

a y b: coeficientes en la ecuación $Y = a + bx$, donde Y es la propiedad mecánica expresada en Kg/cm^2 y x es el peso específico aparente básico.

r: coeficiente de correlación

N: número de especímenes

S: desviación estándar de la regresión

Cuadro N° 25. Análisis de la varianza de la regresión del Módulo de elasticidad sobre Peso específico aparente básico

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F
Regresión	$1,11577 \times 10^9$	1	$1,11577 \times 10^9$	16,02 **
Error	$1,60203 \times 10^9$	23	60653478	
Total	$2,7178 \times 10^9$	24		

Cuadro N° 26. Análisis de la varianza de la regresión del Módulo de ruptura sobre Peso específico aparente básico

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F
Regresión	211097,34	1	211097,34	53,90**
Error	900071,56	23	3916,15	
Total	301168,90	24		

Cuadro N° 27. Análisis de la varianza de la regresión de Compresión paralela sobre Peso específico aparente básico

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado medio	F
Regresión	2843,58	1	2843,58	3,45
Error	18943,28	23	823,62	
Total	21786,86	24		

V, CONCLUSIONES

1. La precisión de los resultados obtenidos no fue la esperada, sólo los valores medios de compresión paralela al grano y módulo de ruptura en flexión estática tienen un intervalo de confianza de más o menos 15%. La variabilidad fue mayor de la esperada.
Con los datos obtenidos puede calcularse el tamaño de muestra necesario para obtener mayor precisión.
Por el tipo de muestreo utilizado, los datos obtenidos pueden incluirse en la nueva muestra, disminuyéndose así la cantidad de árboles necesarios.

2. Los resultados obtenidos pueden ser utilizados en el cálculo de fatigas de diseño.

3. Con la información obtenida fue posible clasificar la madera de la especie ensayada, caracterizándola para cada propiedad. Para las propiedades estudiadas según normas UNIT o COPANT, la clasificación se realizó siguiendo el esquema 1° de NORMA COPANT 30:1020(1974), y para los estudios según NORMAS AFNOR, se siguió la norma AFNOR NF-B S1-002 (1942). La madera en estudio fue así clasificada:

a. Peso específico aparente básico

Le corresponde el índice 6 y la expresión descriptiva: "moderadamente pesada".

b. Contracción volumétrica total

Le corresponde el índice 5 y la expresión descriptiva: "moderadamente pequeña".

c. Dureza

Corresponde al índice 1 y la expresión descriptiva: "extremadamente suave".

d. Flexión estática

De acuerdo a la cota de flexión - que para el caso es 13,87 - la madera se clasifica como de resistencia a la flexión "pequeña".

e. Flexión dinámica

De acuerdo a la cota dinámica (0,812) se clasifica como madera "medianamente resiliente", apta para usos sometidos a choques y vibraciones.

f. Tracción normal

De acuerdo a la cota de adherencia (0,52) se clasifica como "muy adherente", madera apta para uso industrial.

g. Hendimiento

Según valor de la cota de Hendimiento (0,39) se clasifica como "madera poco hendible".

h. Compresión paralela

De acuerdo a su valor de resistencia ($255,84 \text{ kg/cm}^2$) se clasifica en la categoría inferior de las coníferas, y de acuerdo a las cotas de calidad estática y específica, como "madera semidura". ($St=5,95$; $Sp = 13,84$).

4. A través del estudio de regresión realizado, se pudo determinar que existe correlación entre el peso específico aparente básico y el módulo de elasticidad en flexión y también entre el peso específico aparente básico y el módulo de ruptura en flexión, a un nivel de significación del 99%. Esto permite determinar, para un valor dado de peso específico, que valor tiene la propiedad correlacionada.

En el caso de compresión paralela, el valor obtenido es significativo al 90%; es probable que con un número mayor de observaciones, se obtenga una significación mayor.

VI. RESUMEN

Se realizaron ensayos normalizados para estimar medias y variabilidad de los valores de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus elliottii*, a partir de una muestra de cinco árboles crecidos en territorio uruguayo. Se establecieron líneas de regresión para inferir valores de módulo de elasticidad, módulo de ruptura y compresión paralela (carga máxima de ruptura) a partir de datos de Peso específico aparente básico. Se clasificó la madera de la especie de acuerdo a los valores obtenidos para las propiedades estudiadas.

VII. SUMMARY

Standard tests have been made on samples from five uruguayean grown *Pinus elliottii* trees, to obtain estimates of average and variability values of Physical and mechanical properties. Regression lines have been established to estimate MOE, MOR and compression parallel to the grain values from specific gravity data. The species wood has been clasified according to obtained values of studied properties.

VIII. A P E N D I C E

DATOS DE ARBOLES, TROZAS Y LOCALIDADES

ARBOL N° 1: fecha de selección: 12/5/62

Ubicación: Depto. Cerro Largo

Localidad: Bañado de Medina

Pueblo más cercano: Melo

Carretera: Ruta 26

Otros detalles: plantación de la Estación Experimental de Bañado de Medina de la Facultad de Agronomía.

Características ecológicas
generales de la localidad:

LLUVIA PROMEDIO ANUAL	1200 l/m ²
Total medio acumulado - verano	300 l/m ²
Total medio acumulado - invierno	250 l/m ²
Fecha promedio última helada	1°/IX
Fecha promedio 1era. helada	1°/VI.
Temperatura promedio anual	17,5°C
Temperatura promedio julio	12°C
Temperatura promedio enero	24°C

Geología: En los alrededores de la localidad de Bañado de Medina el sustrato geológico se encuentra representado por sedimentitas pertenecientes al Permiano Superior, asociándose las mismas a la formación Yaguari.

En esta formación se pueden reconocer dos miembros: el Inferior compuesto por limolitas y areniscas finamente estratificadas de colores verdes grises marrones y rojizos; el Superior tiene una granulometría más grosera, con amplia predominancia de las areniscas sobre las otras litologías, aunque también presenta lutitas, calizas y conglomerados, siendo siempre sus colores rojos, violáceos y marrones.

ÁRBOL N° 2: fecha de selección: 24/6/82

Ubicación: Depto. Río Negro

Localidad: Algorta

Pueblo más cercano: Algorta

Carretera: Ruta 25

Otros detalles: plantaciones de la Caja Notarial

Características ecológicas
generales de la localidad:

LLUVIA PROMEDIO ANUAL	1100 l/m ²
Lluvia total medio acumulado -verano	300 l/m ²
Lluvia total medio acumulado-invierno	200 l/m ²
Fecha promedio última helada	1°/IX
Fecha promedio primera helada	10/VI
Temperatura promedio anual	18,5°C
Temperatura promedio julio	12°C
Temperatura promedio enero	26°C

Geología: El subsuelo de esta zona está constituido por unidades sedimentarias pertenecientes al Cretáceo Superior, formaciones Guichón y Mercedes.

Dentro de la formación Guichón las rocas más frecuentes son areniscas medias y finas de selección regular, de granos redondeados, feldespáticas con abundante cemento arcilloso, estratificadas, friables de color rojizo. Presenta en muchos casos carbonato de calcio distribuido en toda la roca y más excepcionalmente bajo forma de estratos lenticulares de espesor centimétrico.

En la formación Mercedes las litologías más comunes en esta área pueden ser definidas como areniscas gruesas y/o conglomerádicas con escaso redondeamiento, arcósicas o feldespáticas, con cantos de cuarcita y rocas graníticas, ce

(continuación Arbol N° 2)

Geología: (cont.)

mentadas por arcilla, calcáreo, ó sílice. Estratificación cruzada, friables o tenaces según el tipo de cemento, de colores claros, blancos o rosados.

Suelos: Unidad CIDE Zona 9a, Unidad de Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay a escala 1:1 millón, Asociación Algorta, Suelo Argisol Dístico Oerico. Abrúptico Arenosos hidromórfico y húmico.

Descripción del árbol:

Clase: dominante
 DAP: 30 cm
 Altura total: 15,30 m
 Altura comercial: 10 m
 Tipo de bosque: plantación manejada

Descripción de la troza:

Fecha de volteo: 24/6/82
 N° de la troza seleccionada: 1
 Circunferencia extremo mayor: 35 cm
 Circunferencia extremo menor: 25,75 cm
 Médula: excéntrico
 Sanidad: sano
 Anillos cre/cm: 1,07
 Fecha transporte:
 al aserradero 24/6/82
 al laboratorio 25/6/82

ARBOL N° 3: fecha de selección 24/6/82

Ubicación: Depto. Paysandú

Localidad: Piedras Coloradas

Población más cercana: Piedras coloradas

Carretera: Ruta 90

Otros detalles: plantaciones del Centro Forestal Piedras
Coloradas de la Caja de Jubilaciones y
Pensiones Bancarias

Características ecológicas ge-
nerales de la localidad:

Lluvia promedio anual	1200 l/m ²
Total medio acumulado lluvia verano	250 l/m ²
Total medio acumulado invierno	300 l/m ²
Fecha promedio de la última helada	1°/IX
Fecha promedio de la primera helada	10/VI
Temperatura promedio anual	18,5°C
Temperatura promedio julio	12°C
Temperatura promedio enero	26°C

Geología: El sustrato geológico de esta región está conformado por rocas sedimentarias pertenecientes al Cretaceo Superior, definidas como formaciones Mercedes y Asencio. Las litologías de la formación Mercedes más frecuentes son: areniscas gruesas y conglomerádicas con poco redondeamiento, arcóscicas ó feldespáticas, la cementación está dada por arcilla, calcáreo o sílice. En la formación Asencio pueden definirse dos miembros; Yapeyú: cuya roca dominante es una arenisca media de selección regular de granos bien redondeados, feldespática, arcillosa de color blanco; y Areniscas del Palacio: conformado por areniscas medias de selección regular que al silicificarse y ferrificarse adquieren gran tenacidad y un color rojo intenso característico.

(continuación Arbol N° 3)

Suelos: Unidad CIDE, Zona 9a, Unidad de Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay, a escala 1:1 millón, Asociación Algor_{ta}, Suelo Argisol Distrito Ocrico Abrúptico Arenosos hidromórfico y húmico.

Descripción del árbol:

Clase: dominante

DAP: 35 cm

Altura total: 22 m

Altura comercial: 18 m

Tipo de bosque: plantación manejada

Edad: 20 años

Descripción de la troza:

Fecha de volteo: 24/6/82

N° de la troza seleccionada: 1

Circunferencia extremo mayor: 38 cm

Circunferencia extremo menor: 25 cm

Médula - céntrica

Sanidad - sano

Anillos de crec/cm - 1,05

Fecha de transporte:

al aserradero 24/6/82

al laboratorio 25/6/82

ARBOL N° 4: fecha de selección: 29/1/82

Ubicación: Depto. de San José
 Localidad: Puerto Arazatí
 Población más cercana: Rafael Peraza
 Carretera: Ruta 1
 Otros detalles: Plantaciones de DYÓYA S.A.

Características ecológicas generales de la localidad:

Lluvia promedio anual	1100 l/m ²
Total medio acumulado de lluvia verano	250 l/m ²
Total medio acumulado de lluvia invierno.	250 l/m ²
Fecha promedio de la última helada	10/VIII
Fecha promedio de la primera helada	1°/VII
Temperatura promedio anual	17°C
Temperatura promedio julio	10,5°C
Temperatura promedio enero	24°C

Geología: El subsuelo de esta área está conformado por las unidades más jóvenes de nuestra columna estratigráfica. En Carta Geológica del Uruguay a escala 1:1.000.000 (1975) aparecen definidas las rocas de esta zona como Arenas y Dunas. Están constituidos por arenas finas y medias de regular a buena selección, cuarzosas, a veces arcóscicas, presentando estratificación por granulometría, algo arcillosas. Se pueden desarrollar también niveles de arenas gruesas y cantos rodados asociados a puntas rocosas. Los colores dominantes son blanco a blanco amarillento.

ARBOL N° 5: fecha de selección: 12/11/82

Ubicación: Depto. de Tacuarembó
 Localidad: San Gregorio de Polanco
 Población más cercana: San Gregorio de Polanco
 Carretera: Ruta 43
 Otros detalles: plantaciones de UTE

Características ecológicas generales de la localidad:

Lluvia promedio anual	1.300 l/m ²
Total media acumulada de lluvia verano	300 l/m ²
Total media acumulada de lluvia invierno	300 l/m ²
Fecha promedio de la última helada	20/VIII
Fecha promedio de la primera helada	5/VI
Temperatura promedio anual	18°C
Temperatura promedio julio	12°C
Temperatura promedio enero	25°C

Geología: El sustrato geológico de esta zona está constituido por rocas pertenecientes a la formación San Gregorio/Tres Islas de edad Carbonífero Superior según Closs (1967). Esta unidad se apoya discordantemente sobre el escudo cristalino, o las rocas sedimentarias devonianas. El facies San Gregorio típicamente de origen glacial, representando por tillitas de matriz arcilloso y/o arenosa, areniscas finas o medias cuarzo feldespáticas, lutitas várnicas en algunos casos silicificadas y brechas glaciares se desarrolla fundamentalmente hacia el oeste. El facies Tres Islas alcanza por el contrario un mayor desarrollo hacia el este de la cuenca deposicional y está integrado por areniscas finas, bien seleccionadas, cuarzosas ó feldespáticas arcillosas,

(continuación Arbol N° 5)

Geología (cont.):

a veces silicificadas; estratificadas, friables de colores claros, asociadas a niveles conglomerádicos, areniscas gruesas, limolitas y lutitas carbonosas o caoliníticas.

Suelos: Unidad CIDE, Zona 8, Unidad de Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay a escala 1:1 millón, Asociación Rincón de Zamora, Suelo Arenoso Ocrico.

Descripción del árbol:

Clase: dominante

DAP: 30.2 cm

Altura total: 20,5 m

Altura comercial: 15,5 m

Tipo de bosque: plantación manejada

Edad: 18 años

Descripción de la troza:

Fecha de volteo: 12/11/82

N° de troza seleccionada: 2

Circunferencia extremo mayor: 27 cm

Circunferencia extremo menor: 22 cm

Médula - excéntrica

Sanidad: sano

Anillos de cre/cm - 1.67

Fecha de transporte: al aserradero: 12/11/82

al laboratorio: 15/11/82

IX. BIBLIOGRAFIA

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Standards methods for establishing clear wood strength values. ASTM D 2555. 1978.
2. _____. Standard methods for testing small clear specimens of timber. ASTM D 143-52. 1978.
3. ASSOCIATION FRANCAISE DE NORMALISATION. Bois-caractéristiques physiques et mécaniques des bois. NF B 51-002. Paris, 1942.
4. _____. Bois-détermination de la densité. NF B 51-005. Paris, 1942.
5. _____. Bois-échantillons d'essais, dimensions normalisées NF B 51-003. Paris, 1942.
6. _____. Bois-essai de compression axiale. NF B 51-007. Paris, 1942.
7. _____. Bois-essai de fondage. NF B 51-011. Paris, 1942.
8. _____. Bois-essai de flexion dynamique. NF B 51-009. Paris, 1942.
9. _____. Bois-essai de flexion statique. NF B 51-008. Paris, 1942.

10. ASSOCIATION FRANCAISE DE NORMALISATION. Bois-essai de traction perpendiculaire aux fibre. NF B 51-010. Paris, 1942.
11. _____. Bois-méthodes d'essais, détermination du degré d'humidité. NF B 51-004. Paris, 1942.
12. BENDTSEN, B.A. and CHUDNOFF, M. Properties of seven Colombian woods. US. Department of Agriculture. Forest Service. Research Note FPL-0242. 12p.
13. _____. and RATTNER, F. Method for determining sample size when deriving tolerance limits for a timber species. American Society For testing materials. Research and Standards no. 6. 1969.
14. _____. Important structural properties of four western softwoods; White pine, Sugar pine, Western redcedar and Port Oxford cedar. US. Department of Agriculture. Forest Service. Research Paper FPL - 191. 1972.
15. _____. and ETHINGTON, R.L. Mechanical properties of 23 species of eastern hardwoods. US. Department of Agriculture. Forest Service. Research Note FPL-0230. 1975.
16. _____. ETHINGTON, R.L. and GALLIGAN, W.L. Properties of major southern pines; structural properties and specific gravity. US. Department of Agriculture. Forest Service. Research Paper FPL-176-177. 1975. 77p.

17. BOLZA, E. and KLOOT, N.H.. The mechanical properties of 81 New Guinea timbers. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. Melbourne. Technological Paper no. 41. 1966.
18. _____. The mechanical properties of 56 Fijian timbers. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. Melbourne. Technological Paper no. 62. 1972.
19. BOOTH, H.E. Shrinkage of New South Wales timbers. New South Wales Forestry Commission. Bulletin no. 3. 1964.
20. BRASIL. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS. Tabela de resultados de ensaios físicos e mecânicos de madeiras nacionais. Sao Paulo, 1964. (Publicacao no. 737).
21. BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Methods of testing small clear specimens of timber. BS 373. 1957.
22. BROTERO, F.A. Métodos de ensaios adotados no I.P.T. para o estudo de maderas nacionais. Brasil. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Boletim no. 31. 1956.
23. BRUCE, D. Charts for determining sampling rate and number in sample. US. Department of Agriculture. Forest Service. Research Note PNW-97. 1969.
24. CENTRO TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL (FRANCE) Division de Technologie. Protocole d'essais. Nogent s/mame(Seine) 35p. (Mimeografiado).

25. COMITE PANAMERICANO DE NORMAS TECNIAS. Informe correspondiente a esquema 1 de norma panamericana. Norma COPANT 30:1-020. 1972.
26. _____. Método de determinación del cizallamiento paralelo al grano. Norma COPANT 463. 1972.
27. _____. Método de determinación de la compresión axial o paralela al grano. Norma COPANT 464. 1972.
28. _____. Método de determinación de la compresión perpendicular al grano. Norma COPANT 466. 1972.
29. _____. Método para realizar el análisis estadístico de las maderas. Esquema 1 de norma COPANT 30:1-012. 1972.
30. _____. Método de ensayo de flexión estática. Norma COPANT 555. 1973.
31. _____. Método de ensayo de resistencia al clivaje. Norma COPANT 741. 1975.
32. _____. Método de ensayo de tracción paralela al grano. Norma COPANT 742. 1975.
33. CONFERENCE ON WOOD TECHNOLOGY, 3rd., PARIS, 1954. Proceedings. Roma, FAO, 1955. 204p.
34. COSTA COELHO, L.C. Empleo de madeira de Pinus elliottii na construação civil. Brasil. Instituto Florestal. Boletim Técnico no. 6. 1973.

35. COZZO, D. Arboles forestales, maderas y silvicultura de la Argentina. In Parodi, L.R. Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería. Buenos Aires, Acme, 1975. Tomo 2 Fascículo 16-1.
36. FLAMAND, R. Contracción lineal de *Pinus montezumae* Lamb. México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Notas Técnicas no. 5. 1964.
37. GALANTE, J.J. Tecnología de las maderas, 2ed. Nigar, Buenos Aires, 1953. 479p.
38. GARCIA, R.R. y GARCIA, J. Estudio físico y mecánico de las especies forestales del género *Piptadenia*. Buenos Aires, Administración Nacional de Bosques, 1956.
39. GILMORE, R.C. and PEARSON, R.G. Characterization of the strength of juvenile wood of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) North Carolina State University. Technical Report no. 42. 1969.
40. HAMILTON, J.R. and MATHEWS, R.M. Wood characteristics of planted loblolly and shortleaf pine. Georgia Forest Research Council. Research Paper no. 27. 1965.
41. HANN, R.A. Longitudinal shrinkage in seven species of wood. US. Department of Agriculture. Forest Service. Research Note FPL 0203. 1969.

- 42 . HONEISEL, H. Estipulaciones e instrumentaciones para los ensayos de propiedades físicas y mecánicas de la madera; primera parte. Instituto Forestal Latinoamericano. Boletín no. 16. 1964. pp.80-85.
- 43 . _____. Estipulaciones e instrucciones para los ensayos de propiedades físicas y mecánicas de la madera; segunda parte. Instituto Forestal Latinoamericano. Boletín no. 18. 1965.
- 44 . _____. y ARROYO, J. Resultados preliminares de las propiedades físicas y mecánicas de treinta especies de la Guayana Venezolana. Instituto Forestal Latinoamericano. Boletín no. 20-21. 1966.
- 45 . HOWARD, E.T. Physical and chemical properties of Slash pine parts. Wood Science 5(4):312-317. 1973.
- 46 . INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION. Wood-determination of ultimate strength in static bending. ISO 3133. 1975.
- 47 . _____. Wood testing in compression perpendicular to grain. ISO 3132. 1975.
- 48 . INSTITUTO URUGUAYO DE NORMAS TÉCNICAS. MONTEVIDEO. Determinación del contenido de humedad en maderas. UNIT 223. 1970. 4p.
- 49 . _____. Determinación del peso específico aparente en maderas. UNIT 237. 1970. 6p.

- 50 . INSTITUTO URUGUAYO DE NORMAS TECNICAS. MONTEVIDEO. Ma-
deras; método de determinación de la contracción.
UNIT 363. 1974. 7p.
- 51 . _____. Maderas; método de determinación de la dureza.
UNIT 364. 1974. 6p.
- 52 . _____. Maderas; selección y colección de muestras.
UNIT 361. 1974. 13p.
- 53 . KAUMAN, W.G. and KLOOT, N.H. Technological appraisal of
little-known or unused species. In British Common-
wealth Forestry Conference, 9th., Melbourne, Austra-
lia, 1968. Papers. Melbourne, CSIRO, 1968.
- 54 . KINIMONTH, J.A. and WILLIAMS, D.H. Measuring the moistu-
re content of wood. New Zealand Forest Service. In-
formation series no. 60. 1972.
- 55 . KOCH, P. Utilization of the southern pines. US. Depart-
ment of Agriculture. Forest Service. Agriculture
Handbook no. 420. 1972. v.1.
- 56 . MACK, J.J. Australian methods for mechanically testing
small clear specimens of timber. Commonwealth Scien-
tific and Industrial Research Organization. Melbour-
ne. Technological Paper no. 31. 1979.
- 57 . MARKWARDT, L.J. and WILSON, T.R.C. Strength and related
properties of woods grown in the United States. US.
Department of Agriculture. Forest Service. Technical
Bulletin no. 479. 1935.

- 58 . MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA (URUGUAY). Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay. 4 tomos. 1979.
- 59 . NOACK, D. Evaluation of properties of tropical timbers. In Meeting of Properties Utilization of Tropical Woods, 1st., HAMBURG, 1970. Papers. Hamburg, IUFRO, 1970.
- 60 . PEREZ, V.A. Fatigas de diseño para maderas estructurales chilenas. Chile. Instituto Forestal. Informe Técnico no. 37. 1971.
- 61 . RIOLLOT, C. Technologie générale du bois. 3ed. Paris, Dunod, 1967. 227p.
- 62 . SALLENAVE, P. Rétractibilité linéaire des bois. Bois et Forêts des Tropiques no. 56:45-50. 1957.
- 63 . SIEMON, G.R. Bending strength and specific gravity of four exotic pines grown in south-east Queensland. Queensland. Department of Forestry. Research Note no. 50. 1979.
- 64 . TUSET, R. y DURAN, F. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Montevideo, Hemisferio Sur, 1979. 688p.
- 65 . UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA (URUGUAY). FACULTAD DE AGRONOMIA. Atlas climatológico del Uruguay. Montevideo, 1974. 68p. (Mimeografiado).

66. U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **FOREST SERVICE**. Veneer species that grow in the United States. Washington, 1972. (Research Paper **FPL 167**).
67. US. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **FOREST SERVICE**. Wood Handbook Washington. 1974. 528. (Agricultural Handbook no. 72).
68. WAHLGREN, H.E. and SCHUMANN, D.R.P. **Properties** of major southern pines: Part I. Wood density survey. US. Department of Agriculture. **Forest Service**. Research Paper FPL 176-177. 1975.
69. WANGAARD, F.F. The mechanical properties of wood. New York, Wiley, 1950. 377p.
70. WILSON, J.W. and IPJU, G. Wood characteristics. VI. Measuring density and strength properties of minute specimens. Pulp and Paper Research Institute of Canada. Montreal. Technical Report no. 423. 1965.