

# Proyecto de Tecnología de Ensayo de Productos Forestales LATU-JICA

## Presentaciones en EXPOFORESTA 2000

Indicadores de calidad para la evaluación  
de la madera de acuerdo a su uso final

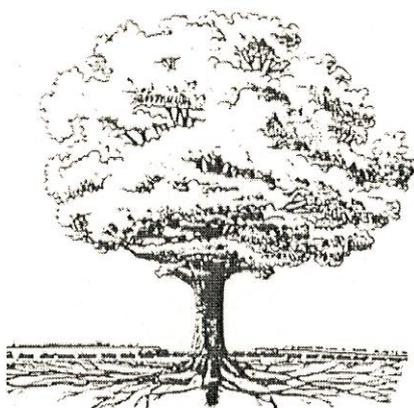
Ing. Quím. Silvia Böthig

Propiedades mecánicas de *Pinus taeda*

Métodos destructivos y no destructivos

Perito Agr. Hugo O'Neill

Anexo: Ensayos disponibles del Sector Productos Forestales



Enero 2001

APUB  
16322



# ÍNDICE

	Página
<b>PRÓLOGO</b>	1
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	1
<b>INDICADORES DE CALIDAD PARA LA EVALUACIÓN DE LA MADERA DE ACUERDO A SU USO FINAL</b>	3
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS DE <i>PINUS TAEDA</i> MÉTODOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS</b>	15
<b>ANEXO: ENSAYOS DISPONIBLES DEL SECTOR PRODUCTOS FORESTALES</b>	25

NR  
16322

## **PRÓLOGO**

Esta publicación reúne las ponencias técnicas del Sector Productos Forestales del Laboratorio Tecnológico del Uruguay en EXPOFORESTA 2000, 2ª FERIA Internacional de la Forestación y la Madera (5-8 oct., 2000, Paysandú, Uruguay).

## **AGRADECIMIENTOS**

A la organización de Expoforesta 2000, en particular al Coordinador Técnico de Seminario, el Ing. Joaquín Carriquiry, por invitarnos a participar.

Al Dr. Sadaaki Ohta por su apoyo técnico invaluable.

Al Sr. Harushi Kobayashi por su apoyo constante.

Al equipo técnico del Sector Productos Forestales del LATU cuyos trabajos condujeron a las presentaciones aquí expuestas.

# INDICADORES DE CALIDAD PARA LA EVALUACIÓN DE LA MADERA DE ACUERDO A SU USO FINAL

Ing. Quím. Silvia Böthig  
Sector Productos Forestales  
Laboratorio Tecnológico del Uruguay

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVO
3. MATERIALES
4. MÉTODOS
  - 4.1. DENSIDAD APARENTE BÁSICA
  - 4.2. LONGITUD DE FIBRAS Y TRAQUEIDAS
  - 4.3. CONTRACCIÓN
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN
  - 5.1. DENSIDAD APARENTE BÁSICA
  - 5.2. LONGITUD DE FIBRAS Y TRAQUEIDAS
  - 5.3. CONTRACCIÓN
6. CONCLUSIONES

### 1. INTRODUCCIÓN

Las especies seleccionadas por el Plan Maestro de Forestación en nuestro país, pertenecientes a los géneros *Pinus* y *Eucalyptus*, han sido exitosas en su desarrollo por varias razones. En primer lugar, son especies que se adaptan fácilmente al sitio de plantación. En segundo lugar, crecen rápidamente bajo óptimas condiciones, dando lugar a turnos cortos de 10 a 20 años. Por otra parte, el apoyo financiero estatal que estas especies han tenido contribuyó de forma determinante a su masificación.

En el año 2000, hay aproximadamente 450.000 há plantadas con géneros de *Pinus* y *Eucalyptus*, el plan quinquenal de forestación prevee una forestación anual de 56.000 há. Parte de estos montes está siendo cortada, pero aparecen muchos problemas en el procesamiento de la madera cosechada. Por otra parte, la madera proveniente de las forestaciones nacionales no ha sido caracterizada, y por lo tanto no se ha estudiado suficientemente la forma más adecuada de procesarla. En consecuencia el precio es inferior al esperado, y el productor carece de herramientas para defenderlo.

Es de primordial importancia económica mejorar su calidad; esto será posible mediante un mejoramiento genético y un manejo silvicultural enfocados hacia ese objetivo. Desde otro punto de vista, el industrial deberá desarrollar técnicas adecuadas para el procesamiento de la madera y optimizar el uso final de este recurso. Para todo esto y para poder defender el precio en la comercialización, es necesario caracterizar nuestras maderas.

## 2. OBJETIVO

El objetivo principal de esta presentación es dar una imagen actualizada de las características fundamentales de la madera de las forestaciones uruguayas.

Un segundo objetivo de este trabajo es el estudio de tres propiedades fundamentales como indicadores de calidad de la madera.

El objetivo final es que se obtengan productos de buena calidad, con el mayor valor agregado posible, ocupando más mano de obra y logrando mejores precios.

## 3. MATERIALES

Este trabajo se llevó a cabo en madera proveniente de tres especies plantadas en Uruguay: *Pinus taeda*, *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus* spp. *globulus*.

Nota 1: De aquí en más se mencionará la especie *E. globulus*, refiriéndose siempre a *E. globulus* spp. *globulus*.

Características del muestreo:

	<i>E. globulus</i>	<i>E. grandis</i>	<i>Pinus taeda</i>
Diámetro altura del pecho (cm)	23,8 (20,0-27,5)	44,8 (44,2-45,4)	40 (33,0-52,0)
Diámetro menor de troza (cm)	21,7(19,0-25,0)	41,9(40,0-44,0)	36,4 (29,0-49,0)
Diámetro mayor de troza(cm)	27,7(24,2-32,3)	53,7 (49,5-58,5)	47,2 (30,0-62,0)
Edad	8	15,8 (13,5-16,5)	16,8 (11,0-21,0)
Nº de árboles	9	5	15
Procedencia	Lavalleja	Rivera	Rivera

Nota 2: Los valores entre paréntesis indican el rango de variación de estos parámetros.

## 4. MÉTODOS

Tres indicadores de calidad fueron seleccionados para este estudio: densidad, longitud de fibra y contracción.

### 4.1. DENSIDAD APARENTE BÁSICA

Al mencionar la **densidad**, nos referimos a la **densidad aparente básica**, que evalúa la masa de materia leñosa en estado anhidro por unidad de volumen (incluyendo el volumen que ocupan las cavidades celulares) en estado verde.

La **densidad** está directamente relacionada con la resistencia y la gran mayoría de las propiedades físicas y mecánicas. Por lo general maderas más densas tienen mayor resistencia mecánica, mayor módulo de elasticidad y mayor dureza. También influye en las propiedades térmicas, acústicas y eléctricas.

En este caso la densidad fue medida por el método de inmersión en agua. Se pesaron las probetas saturadas en agua y se midió el volumen del agua desplazado ("Principio de Arquímedes"). Las probetas de ensayo fueron extraídas consecutivamente a lo largo del radio, cortándolas según el contorno de los anillos de crecimiento.

#### 4.2. LONGITUD DE FIBRAS Y TRAQUEIDAS

El tejido de las latifoliadas tiene células que le proporcionan resistencia (fibras) y células conductoras de la savia (vasos). En el caso de las coníferas las mismas células conductoras (traqueidas) son las que le dan sostén al tejido.

El **largo de las fibras** (o traqueidas) proporciona información sobre la forma de disposición del material celular, es decir sobre el patrón de construcción de la estructura de la madera. Es esperable que tenga relación con la resistencia. En el caso de la industria del papel, es sabido que a mayor largo de fibras se obtiene un producto final con mayor resistencia.

Se extrajo las probetas en dirección radial desde la médula hacia la corteza; las probetas se cortaron de forma prismática de largo mayor a 10 mm y pequeña sección. Luego se realizó una maceración de la madera con una solución mordiente que disuelve la lignina. Se midieron 30 o 50 traqueidas por probeta. La medición de fibras se hizo en proyector de perfiles Nikon con aumentos de 50 y 100 veces.

#### 4.3. CONTRACCIÓN

Mientras el árbol está en pie, los lúmenes y espacios intercelulares están saturados de agua. A medida que la madera se seca, va eliminando el agua y las fibras se acercan, disminuyendo en parte el volumen ocupado. Cuando el secado va más allá del punto de saturación de las fibras, comienza a eliminar agua de impregnación adsorbida, que está ligada a las paredes celulares. En este momento la contracción comienza a ser apreciable y es proporcional a la disminución en el contenido de humedad.

Debido a la estructura anatómica de la madera, la **contracción** ocurre en distinta magnitud para las distintas direcciones de la madera. Por lo general, en la dirección tangencial es mayor que en sentido radial; generalmente la relación entre ambas varía de 1,2 a 2,0. En el sentido longitudinal suele ser despreciable. Este comportamiento diferencial según la dirección es conocido como **anisotropía** y se debe a la propia estructura molecular compleja de la madera. Generalmente, cuanto menor anisotropía tenga, más fácil va ser su procesamiento.

Tanto la densidad, como el largo de fibras y el ángulo de las micro fibrillas (componentes de la capa media de la pared secundaria S2 de la pared celular) influyen de gran manera en el comportamiento de absorción y desorción del agua, en la contracción y el hinchamiento de la madera.

Por estas razones elegimos la contracción como indicador, ya que nos da mucha información sobre las propiedades físicas de la madera.

La magnitud de la contracción y la anisotropía de la contracción (las diferencias direccionales) afectan al procesamiento de la madera. La contracción longitudinal, que aparece cuando hay madera de reacción, produce por ejemplo defectos en el secado, como el combado o arqueado.

El ensayo se realizó sobre probetas de 30 x 30 x 5 mm, cortadas según la dirección transversal al grano y con ambos lados según las direcciones tangencial y radial. Se extrajeron las probetas de cada árbol en forma continua desde la médula hacia la corteza. La contracción se evaluó midiendo la variación de las dimensiones en estado verde, a 15% de contenido de humedad y en estado anhidro.

Se calcularon las contracciones lineales totales (de verde a estado anhidro) y las contracciones lineales normales (de estado verde a 15% de humedad), ambas en dirección tangencial y radial. Fueron calculados otros coeficientes, como la contracción volumétrica y el coeficiente de contracción.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. DENSIDAD APARENTE BÁSICA

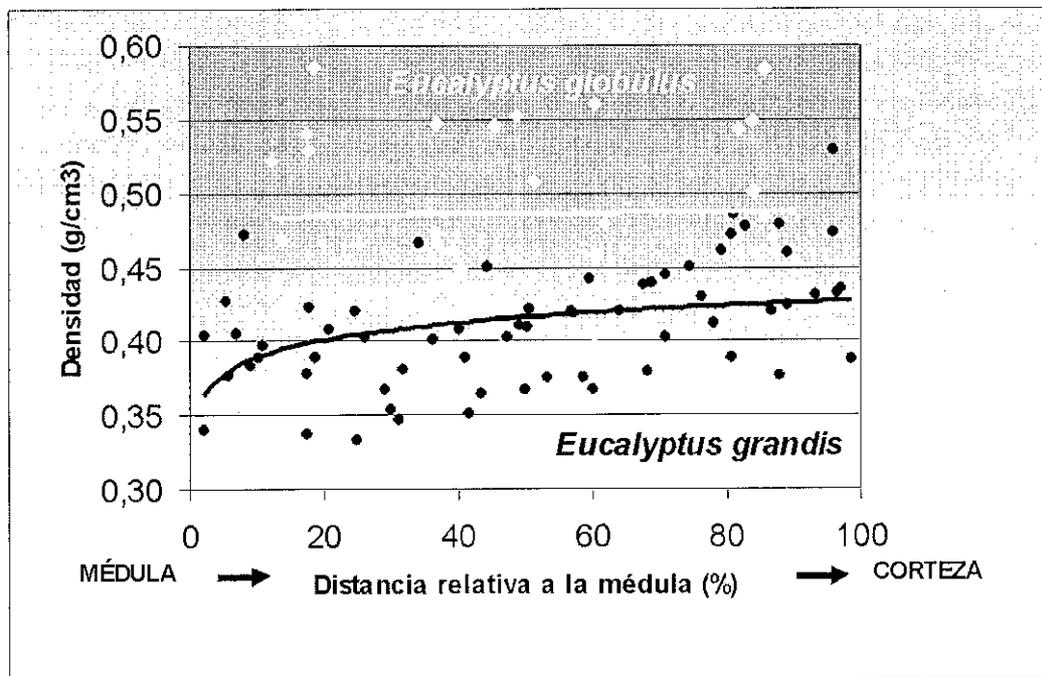


Gráfico N°1. Variación de la densidad según la distancia a la médula de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus*

La distancia relativa a la médula se refiere a la posición de la probeta en el disco estudiado. Es el porcentaje de la distancia a la médula en relación al radio (distancia total desde la corteza a la médula). Se eligió graficar esta variable debido a la gran diferencia de radios (y edades) en las trozas estudiadas.

- *E. grandis* presenta una clara tendencia a incrementar la densidad a medida que nos alejamos del centro del árbol. Esto lo asociamos a una madera adulta con mayor densidad que la madera de las zonas interiores.
- En *E. globulus* no se puede encontrar un límite entre madera juvenil y madera adulta; probablemente, dada la corta edad de los árboles, no se haya generado madera adulta.
- Hay mucha variabilidad entre árboles.

### Breve reseña acerca de la madera juvenil:

Durante los primeros años de desarrollo del árbol, el crecimiento en sentido radial es muy intenso y el tejido formado es llamado **madera juvenil**; predominan las duplicaciones celulares sobre el elongamiento celular, formándose una madera con fibras más cortas. Se genera menor porcentaje de leño tardío y como consecuencia la madera será menos densa. La madera juvenil presenta mayor ángulo de las micro fibrillas y por lo tanto más contracción longitudinal y probablemente menor resistencia. Otro problema que suele presentar es mayor espiralidad del grano.

Durante los primeros años, debido al crecimiento tan vigoroso, las propiedades de la madera formada cambian rápidamente. A medida que el árbol crece forma madera adulta, con características más homogéneas, mayor densidad, fibras más largas y micro fibrillas menos inclinadas. El momento de transición se asocia a condiciones genéticas, ambientales y silviculturales.

Es muy importante obtener madera con la mayor proporción de madera adulta posible. Y por otra parte es también fundamental aprovechar al máximo la madera que se obtiene hoy en día. Para esto tenemos que poder caracterizar la madera adulta y la madera juvenil.

A continuación se resumen las diferencias más importantes entre ambos tipos de madera:

MADERA JUVENIL	MADERA ADULTA
CRECIMIENTO RÁPIDO	CRECIMIENTO MÁS LENTO
TRAQUEIDAS CORTAS	TRAQUEIDAS LARGAS
BAJA DENSIDAD	ALTA DENSIDAD
MENOR RESISTENCIA	ALTA RESISTENCIA
MÁS LIGNINA	MENOS LIGNINA
MÁS RESINA ( <i>Pinus spp</i> )	MENOS RESINA ( <i>Pinus spp</i> )
MAYOR CONTRACCIÓN LONGITUDINAL	MENOR CONTRACCIÓN LONGITUDINAL
MÁS NUDOS	LIBRE DE NUDOS
MÁS DEFECTOS EN SECADO	MEJOR COMPORTAMIENTO EN SECADO

Tabla 1. Densidad Aparente Básica de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus* (g/cm<sup>3</sup>)

	<i>E. grandis</i>	<i>E. globulus</i>
Nº de medidas	64	32
promedio	0,412	0,486
mínimo	0,333	0,404
máximo	0,529	0,585
desviación estándar	0,041	0,054

- Comparando promedios de ambas densidades se ve que *E. globulus* es más denso. Por otro lado observando las tendencias en el Gráfico N°1, confirmamos que esa relación se mantiene en todo el radio de la sección.
- Las densidades promedio encontradas para los eucaliptos son menores que otras encontradas en bibliografía:
  - Densidad básica de *E. globulus* (19 años): 0,54 g/cm<sup>3</sup> (madera juvenil) y 0,61 g/cm<sup>3</sup> (duramen externo). (Waugh, G. and Yang, J.L. 1993a. Australia. CSIRO, Division of Forest Products final report N°FP-303: p 90)
  - Densidad básica de *E. globulus*: 0,56 g/cm<sup>3</sup> (madera juvenil) y 0,71 g/cm<sup>3</sup> (madera adulta). (Northway R. (1997) – Drying properties and technologies of

- Eucalypt woods, FFPRI Scientific Meeting Report 2 ISSN 1341-1969, Appendix A)
- Densidad básica de *E. grandis*: 0,56 g/cm<sup>3</sup> (madera juvenil) y 0,60 g/cm<sup>3</sup> (madera adulta). (Northway R. (1997) – Drying properties and technologies of Eucalypt woods, FFPRI Scientific Meeting Report 2 ISSN 1341-1969, Appendix A)

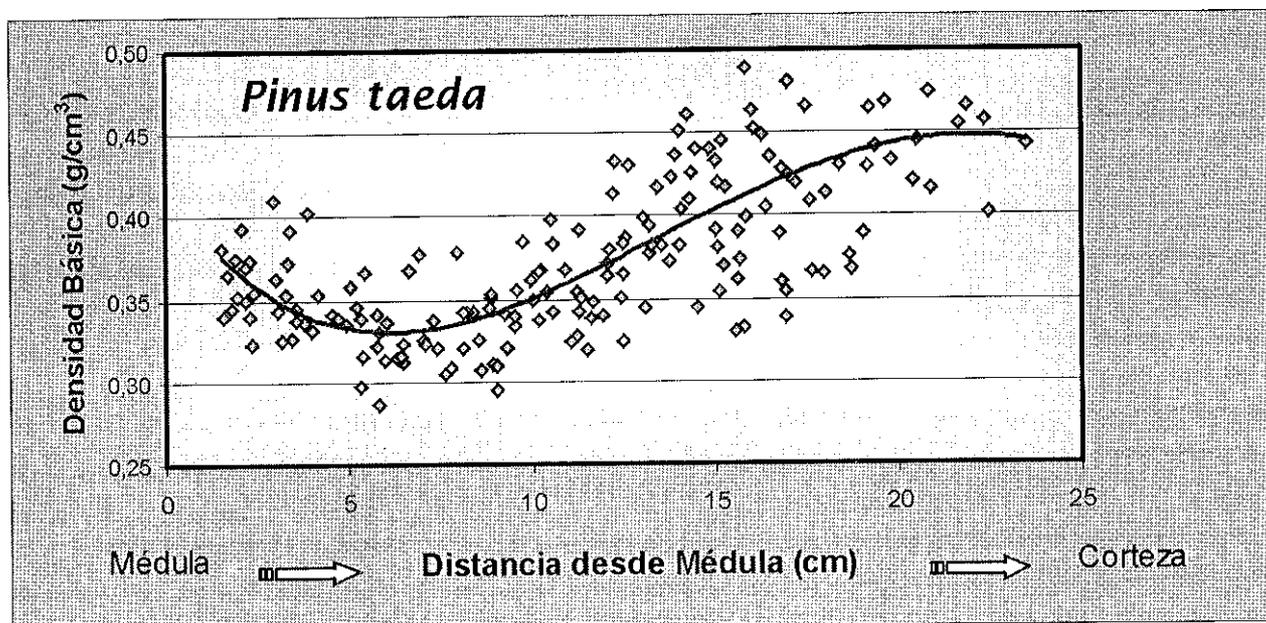


Gráfico N° 2. Variación de la densidad según la distancia a la médula de *Pinus taeda*

- La densidad de *Pinus taeda* tiende a ser un poco mayor cerca de la médula, disminuyendo su valor hasta una distancia aproximada de 5 cm. Es probable que este comportamiento se deba al alto contenido de resinas alrededor de la médula.
- A partir de este punto se observa una tendencia marcada de la densidad a aumentar a medida que nos alejamos de la médula. Esta variación tan pronunciada entre madera juvenil y adulta es característica de las coníferas, y mucho más notoria que para las latifoliadas.
- Podemos observar cerca de la corteza una estabilización en los valores de la densidad, precedida de una zona de transición entre los 11 y 16 cm desde la médula aproximadamente. Según otros estudios realizados en el LATU, esta zona se correspondería con los anillos de crecimiento N° 8 a 12 (Ver: Pérez Favaro, A.; de Castro, R.; Ohta, S./Índices de Calidad de Madera en *Pinus taeda* de Rivera para la optimización del uso final, Informe de Investigación N°2 LATU-JICA, 2000)

Tabla 2. Densidad Aparente Básica de *Pinus taeda* (g/cm<sup>3</sup>)

	<i>Pinus taeda</i>
N° de medidas	179
promedio	0,378
mínimo	0,286
máximo	0,573
desviación estándar	0,052

## 5.2. LONGITUD DE FIBRAS Y TRAQUEIDAS

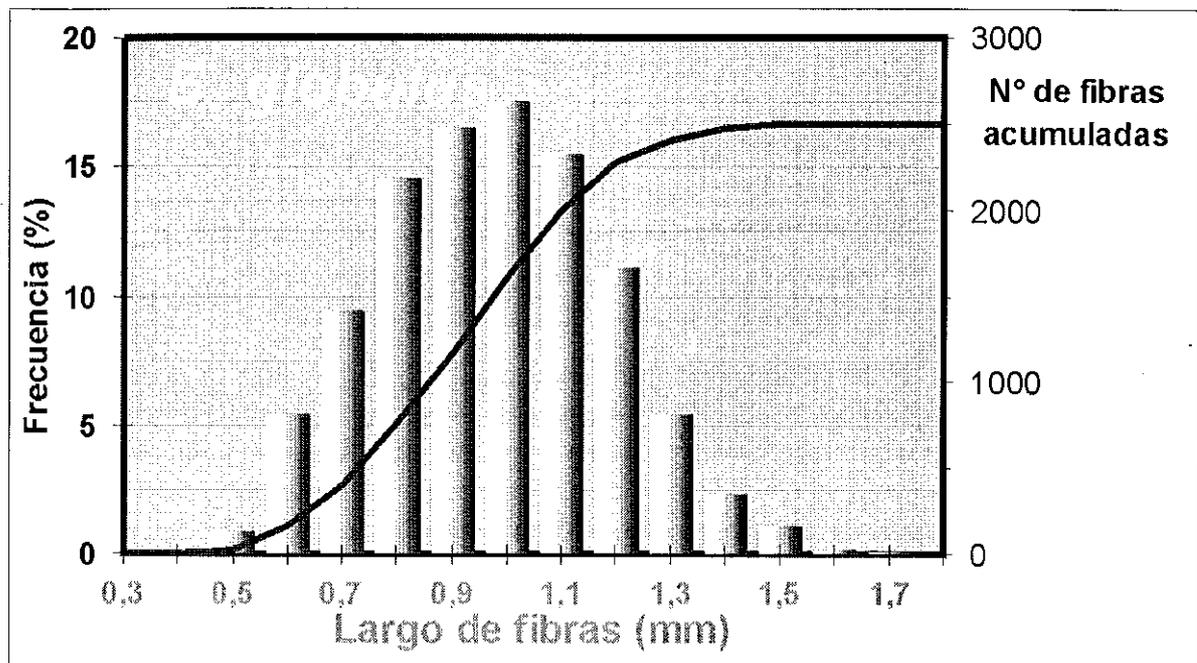


Gráfico N°3. Distribución de la longitud de fibras y N° de fibras acumuladas de *E.globulus*

En el Gráfico N° 3 vemos la longitud de las fibras medidas en el eje de las abscisas, y en el eje de las ordenadas se representa la cantidad de fibras con esa longitud, como porcentaje sobre el total de las fibras medidas. En el eje de las ordenadas secundario, o sea a la derecha, vemos el total de fibras medidas. Por ejemplo en este caso se midieron 2500. De esas 2500, un 17,5% tienen una longitud entre 0,9 y 1,0 mm. Un 75% de las fibras de *E. globulus* tienen una longitud entre 0,7 y 1,2 mm.

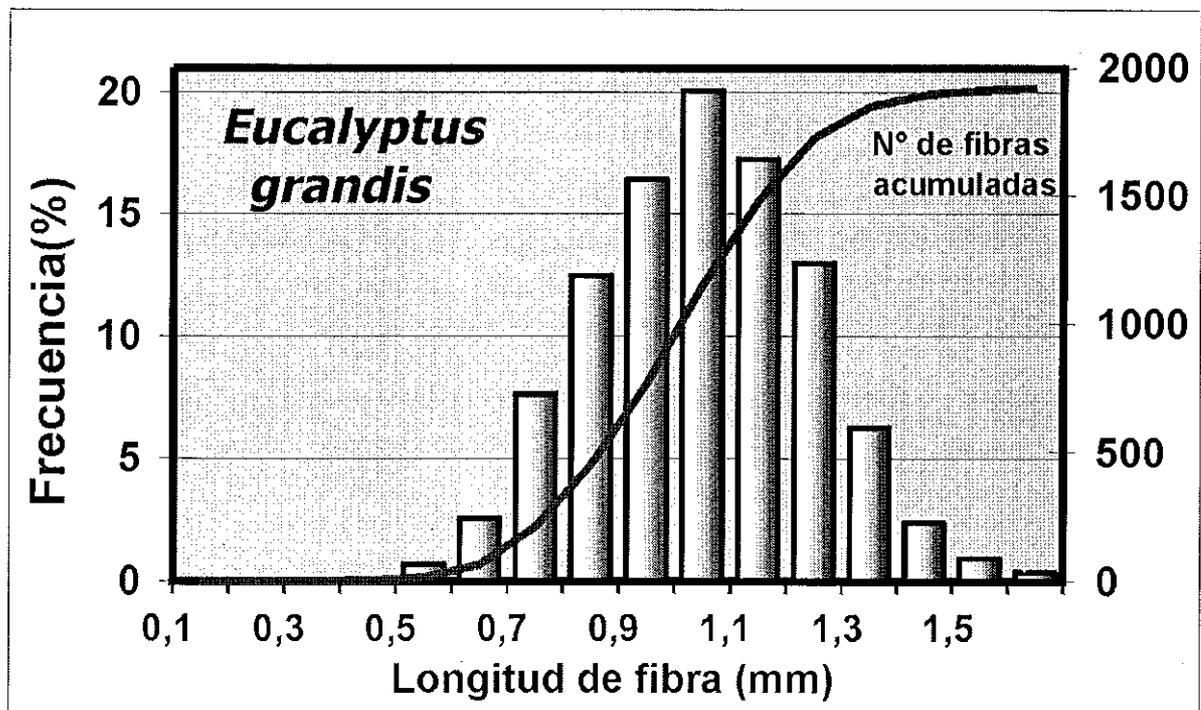


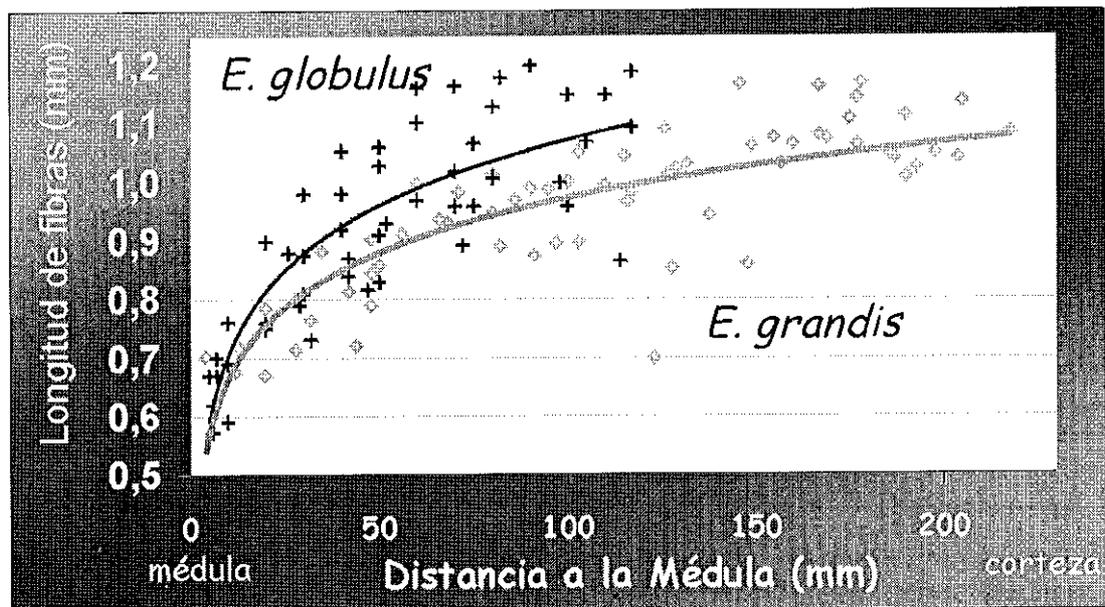
Gráfico N° 4. Distribución de la longitud de fibras de *E. grandis*

- El 79% de las fibras medidas de *E. grandis* tienen entre 0,7 y 1,2 mm de longitud.

**Tabla 3. Longitud de fibras de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus* (mm)**

	<i>E. globulus</i>	<i>E. grandis</i>
promedio	0,93	0,96
mínimo	0,37	0,38
máximo	1,65	1,58
N° de medidas	2500	1920
desviación estándar	0,21	0,20

- Los promedios de las densidades de ambas especies son similares, pero para poder compararlas entre sí, tenemos que tener en cuenta las edades. Los árboles ensayados de *Eucalyptus grandis* tenían una edad promedio de 16 años en el momento del corte, mientras que los especímenes de *Eucalyptus globulus* provienen de un monte de 8 años. En el Gráfico N°5 se puede comparar claramente la longitud de fibra según la edad del tejido (distancia a la médula).



**Gráfico N°5. Variación del largo de fibras según la distancia a la médula de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus***

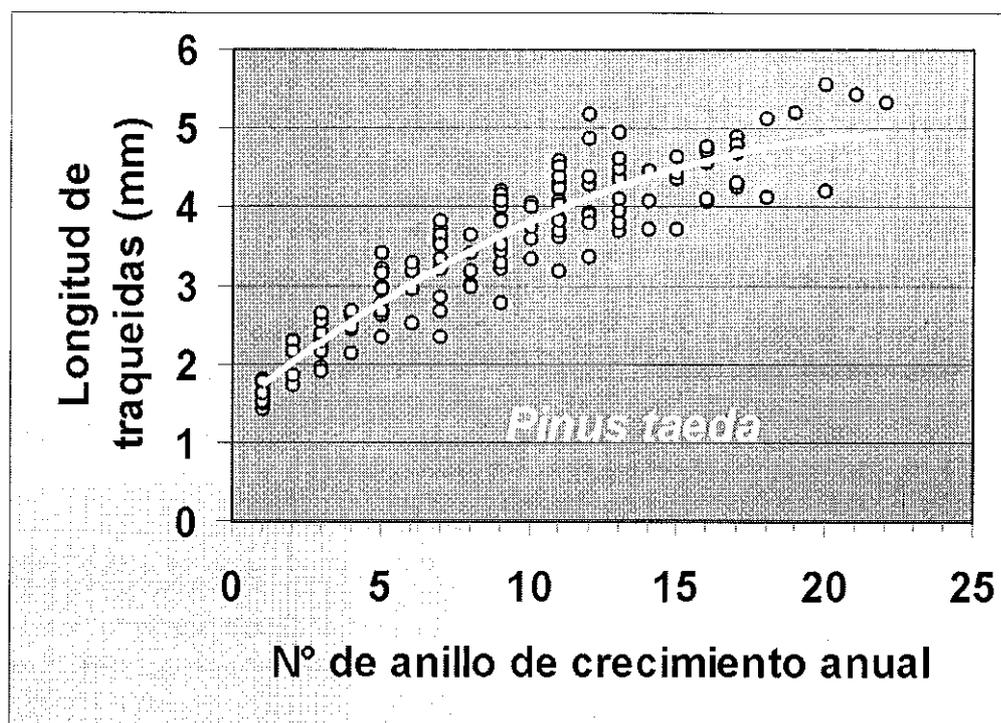
- En el *Eucalyptus grandis*, alrededor de la médula la longitud de fibras se incrementa rápidamente a medida que aumenta la distancia radial. Este comportamiento es característico de la madera juvenil. A partir de los 100 mm se observa una zona de transición de madera juvenil a madera adulta, donde los valores de longitud de fibra tienden a ser constantes.
- La variación en la longitud de las fibras de *Eucalyptus globulus* con la posición en el radio es grande, debido a que probablemente casi todo sea madera juvenil. Los ejemplares de *E. globulus* estudiados son más jóvenes que los de *Eucalyptus grandis* (8 y 16 años promedio respectivamente), y por lo tanto es lógico tener gran porcentaje de madera juvenil.

- Podemos apreciar que para fibras ubicadas a una misma distancia a la médula, las de *E. globulus* son siempre más largas que las de *E. grandis*.

**Tabla 4. Longitud de Traqueidas de *Pinus taeda* (mm)**

	<i>Pinus taeda</i>
promedio	3,8
mínimo	0,89
máximo	6,8
N° de medidas	4980

- El 81% del total mide entre 2 y 5 mm; el 59% mide entre 2,5 y 4,5 mm. Observamos un amplio rango de variación de estas medidas, mucho mayor que en las latifoliadas analizadas. Esto se explica porque en las coníferas hay mucho mayor diferencia entre las propiedades de la madera juvenil y la adulta
- El promedio del largo de traqueidas medidas es 3,8 mm, mucho mayor que el largo de las fibras de los eucaliptos estudiados. La longitud de las traqueidas es generalmente 3 o 4 veces mayor que la de las fibras. Mayormente el promedio de largo de traqueidas oscila alrededor de 4,5 o 5,0 mm. En este caso el promedio se ve disminuido por el alto porcentaje de madera juvenil.



**Gráfico N°6. Variación de la longitud de traqueidas según la distancia a la médula de *Pinus taeda***

- Podemos ubicar la transición entre madera juvenil y adulta de *Pinus taeda* entre los 8 y 12 años (Ver Informe de investigación N°2 LATU-JICA, 2000), período en el que se produce un cambio de pendiente de la curva. Durante el período juvenil el crecimiento es más vigoroso, generando traqueidas mucho más cortas. A su vez la velocidad de crecimiento cambia rápidamente (se enlentece), produciendo madera de características muy heterogéneas.

- Es deseable para el reprocesamiento, obtener madera homogénea, o sea con gran proporción de madera adulta.

### 5.3. CONTRACCIÓN

**Tabla 5. Contracción de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus***

	<i>Eucalyptus grandis</i>		<i>Eucalyptus globulus</i>	
	Tangencial (%)	Radial (%)	Tangencial (%)	Radial (%)
Contracción de estado verde a 15% de contenido de humedad				
promedio	4,82	1,64	5,38	1,64
mínimo	3,54	1,59	3,68	0,56
máximo	6,10	2,74	7,92	3,12
desviación estándar	0,85	0,45	1,04	0,40
coeficiente de variación	18	28	19	24
Contracción total (de estado verde a anhidro)				
promedio	8,55	4,17	9,45	4,06
mínimo	7,15	4,13	6,67	2,40
máximo	10,42	5,98	14,24	5,94
desviación estándar	1,10	0,84	1,24	0,66
coeficiente de variación	13	20	13	16

**Tabla 6. Anisotropía de contracción t/r (relación entre las contracciones lineales promedio tangencial y radial) de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus***

	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus globulus</i>
anisotropía de la contracción normal	2,9	3,3
anisotropía de la contracción total	2,0	2,3

- La relación entre la contracción en ambas direcciones se llama anisotropía de la contracción (t/r). Es un indicador de la dificultad que presentará la madera en el secado. En los dos casos es muy alta para ambas especies, hay mucho mayor contracción en sentido tangencial a los anillos de crecimiento, que en sentido radial.
- Comparando ambas especies vemos que *Eucalyptus globulus* presenta valores de contracción y de anisotropía mayores que *Eucalyptus grandis*.

**Tabla 7. Contracción de *Pinus taeda***

	<i>Pinus taeda</i>	
	Tangencial	Radial
	(%)	(%)
Contracción de estado verde a 15% de contenido de humedad		
promedio	2,21	0,95
mínimo	0,83	0,34
máximo	3,34	1,77
desviación estándar	0,46	0,27
coeficiente de variación	21	28
Contracción total (de estado verde a anhidro)		
promedio	5,90	3,22
mínimo	2,95	1,81
máximo	8,23	5,81
desviación estándar	1,04	0,73
coeficiente de variación	18	23

**Tabla 8. Anisotropía de contracción (t/r) (Relación entre las contracciones promedio tangencial y radial) de *Pinus taeda***

	t/r
anisotropía de la contracción normal	2,3
anisotropía de la contracción total	1,8

- Se puede apreciar que el *Pinus taeda* estudiado tiene menor anisotropía que los eucaliptos analizados.
- Los valores de contracción son también menores, como era de esperar en una comparación de coníferas y latifoliadas,

## 6. CONCLUSIONES

1. En general, las tres especies estudiadas, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus globulus* y *Pinus taeda* muestran una mejora en sus propiedades a medida que nos alejamos de la médula hacia la corteza.
2. La variación de la calidad entre la madera juvenil y la adulta es más pronunciada para el *Pinus taeda* que para las latifoliadas analizadas.
3. Zona de transición entre madera juvenil y adulta:

<i>Eucalyptus globulus</i>	10 cm desde la médula
<i>Eucalyptus grandis</i>	8-11 cm desde la médula
<i>Pinus taeda</i>	16 cm desde la médula (8-12 años)

En los árboles estudiados de *Eucalyptus globulus*, no se evidencia la presencia de madera adulta, debido a la corta edad de los mismos.
4. En las muestras estudiadas, hay mucha variabilidad de la densidad entre los distintos árboles de una misma especie.
5. *Eucalyptus globulus* presenta según este estudio mayor densidad, mayor longitud de fibras, mayores contracciones tangenciales y mayor anisotropía en la contracción (t/r), que *Eucalyptus grandis* estudiado.
6. La longitud de fibras es un muy buen indicador, el mejor de los 3 estudiados, porque permite:
  - evaluar la calidad de las maderas
  - determinar la presencia de madera juvenil y madera adulta
  - predecir la calidad de la madera aún desde edades muy tempranas
  - ser usado para mejoramiento genético
7. La densidad es también un buen indicador, pero la presencia de resinas y otros extractivos interfieren. Para mejoramiento genético, se aconseja medir la densidad luego de eliminar los extraíbles.
8. La anisotropía de contracción normal en los eucaliptos estudiados es muy grande. Esto puede dificultar el proceso de secado. En especial *Eucalyptus globulus* presenta una relación de contracción mayor.
9. Dada la diferencia de calidad entre la madera juvenil y la adulta, es recomendable la clasificación de la madera para darle diferentes usos finales.

La madera adulta de mejor calidad se podrá usar para construcción de viviendas, madera laminada, partes de muebles u otras aplicaciones.

Se recomienda buscar otros usos para la madera juvenil, como ser cajas, pallets, carretes de cables eléctricos, tableros de fibras (MDF) u otros productos que no requieran madera de alta calidad.
10. Se deben proseguir estos estudios sobre madera proveniente de otros sitios de prioridad forestal del país y árboles de otras edades, para confirmar y extender estos resultados. Es importante estudiar la variación de estos indicadores con la altura.

# PROPIEDADES MECÁNICAS DE *PINUS TAEDA*

## MÉTODOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS

Perito Agr. Hugo O'Neill  
Sector Productos Forestales  
Laboratorio Tecnológico del Uruguay

### TABLA DE CONTENIDO

1. OBJETIVOS
2. MATERIALES
3. MÉTODOS
4. RESULTADOS
5. CLASIFICACIÓN
6. CONCLUSIONES

#### 1. OBJETIVOS

- A) Profundizar en el conocimiento del comportamiento de la madera frente a los distintos ensayos mecánicos, que nos permitirá una buena caracterización de la especie evaluada. Este comportamiento depende de varios factores de los cuales destacamos: su densidad, su ubicación dentro del árbol (en la altura del fuste y en el radio), ya sea madera adulta o madera juvenil.
- B) Crear conciencia en la importancia que tiene la caracterización mecánica (esfuerzos y tensiones) de nuestras maderas ya que nos permite definir claramente la aptitud de una madera, para el uso final requerido.  
Es diferente la exigencia a la que sometamos una madera según su uso final, ya sea en una estructura (viga, columna, etc.), en un piso, en un lambriz decorativo, o en un mueble (como componente estructural o no).
- C) Difundir los resultados de las investigaciones realizadas por el sector Productos Forestales, dentro del marco del Proyecto de Cooperación Técnica en Tecnología de Ensayo de Productos Forestales entre la Agencia Internacional de Cooperación del Japón y el Laboratorio Tecnológico del Uruguay.

Creemos que lograr estos objetivos redundará en beneficio de todo el sector forestal uruguayo, aumentando el valor agregado de sus productos, abriendo nuevos mercados y mejorando el precio de nuestras maderas.

## 2. MATERIALES

La madera utilizada para los ensayos, se obtuvo de nueve especímenes de *Pinus taeda* seleccionados entre quince árboles de crecimiento rápido, muestreados en el departamento de Rivera, con un diámetro promedio en el extremo basal de 48 cm y una edad entre 11 y 21 años (ver Tabla N° 1).

Tabla N° 1: Características de las trozas seleccionadas para ensayos mecánicos.

Clasificación por DAP	Mayor			Medio			Menor		
Árbol N°	1	2	3	6	7	11	8	12	13
N° de Anillos	21	20	21	16	14	11	16	14	15
DAP (cm)	52	50	43	41	40	37	34	34	34
Diámetro Mayor (cm)	62	55	52	53	46	49	41	43	39
Diámetro Menor (cm)	49	44	41	35	38	31	33	33	32
Largo (m)	4,9	4,9	4,9	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7

De las trozas seleccionadas se obtuvieron 50 probetas con una escuadría de: 50 mm de espesor, 150 mm de ancho y una longitud de 280 cm (Figura N° 1). Se utilizó madera en condiciones de uso estructural, con defectos como nudos, pequeñas grietas, alabeos, etc.

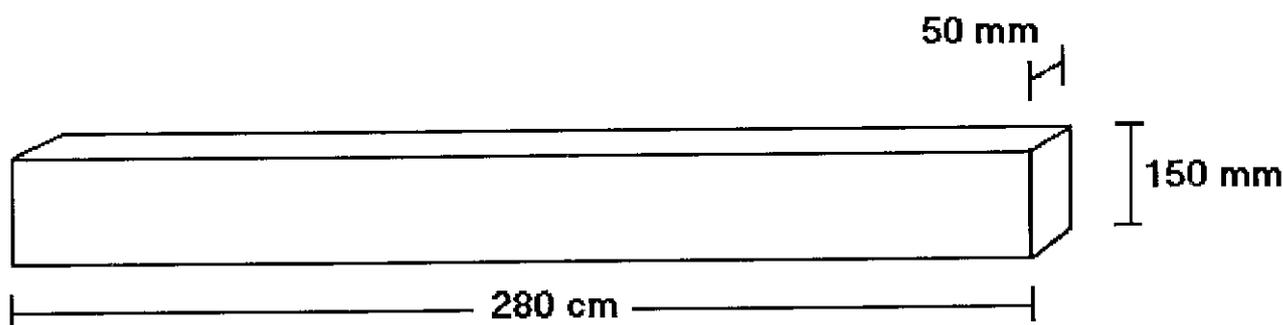
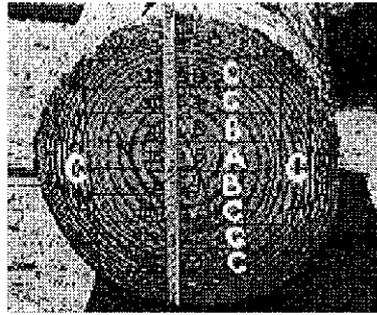


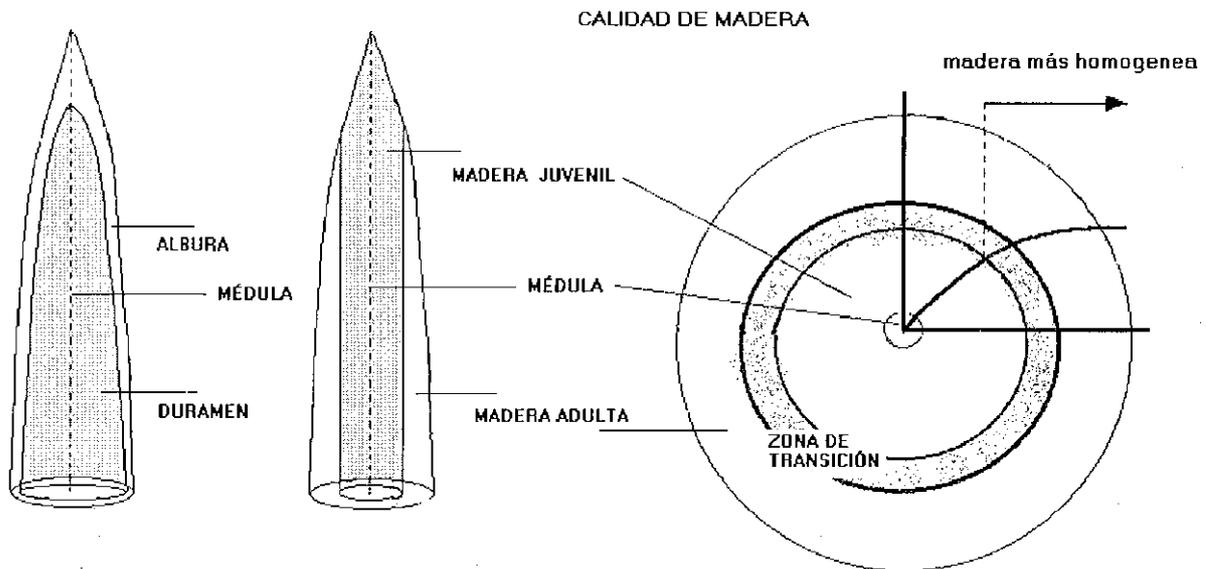
Figura N° 1: Esquema de las dimensiones de las probetas.

Las tablas o probetas se agruparon en tres categorías **A**, **B** y **C**: la **A** compuesta por tablas que incluían médula y por consiguiente con un alto porcentaje de madera juvenil; la **B** compuesta por tablas cercanas a la médula, con diferentes contenidos de madera adulta y juvenil; por último la **C** compuesta por tablas obtenidas lejos de la médula, con un alto porcentaje de madera adulta (Figura N° 2).



**Figura N° 2: Esquema de la ubicación de las tablas con respecto a la médula.**

Consideramos madera juvenil aquella que formada cerca de la médula se extiende radialmente hasta un determinado anillo (variable según la especie y otros factores) a lo largo de todo el fuste del árbol. En estudios realizados por el sector Productos Forestales del LATU, sobre *Pinus taeda* de Rivera, se observó que la transición de madera juvenil a madera adulta se produce entre los ocho y los doce años de edad (Informe de Investigación N°2, LATU-JICA, 2000).



**Figura N° 3: Esquema de la distribución de la madera dentro del fuste.**

**Tabla N° 2: Algunas características de la madera juvenil y la madera adulta**

<b>MADERA JUVENIL</b>	<b>MADERA ADULTA</b>
Alta proporción de duramen	Alta proporción de albura
Presencia de nudos	Libre de nudos o con nudos pequeños
Anillos anchos	Anillos delgados
Baja densidad	Alta densidad
Traqueidas cortas	Traqueidas largas
Ocurrencia de defectos durante el secado	Buen comportamiento en el secado
Baja resistencia a los esfuerzos mecánicos	Alta resistencia a los esfuerzos mecánicos
Alto contenido de lignina	Bajo contenido de lignina

Algunas de las características de la madera juvenil y de la madera adulta de *Pinus taeda* tales como largo de traqueidas, densidad, comportamiento mecánico y ancho de anillos, fueron ensayadas y estudiadas por el sector Productos Forestales.

En dichos estudios se observaron las características mencionadas en la Tabla N°2.

### **3. MÉTODOS**

Se realizaron variados ensayos para evaluar la calidad de la madera de *Pinus taeda* obtenida en Rivera. En esta ocasión hablaremos sobre las propiedades de resistencia mecánica.

Dentro del proyecto LATU - JICA se efectivizó la donación de una máquina universal de ensayos de 25 toneladas de capacidad, equipo de alta tecnología y de última generación, que nos permite realizar ensayos mecánicos en ejemplares de madera de tamaño real (madera estructural, madera laminada, etc.) y también en pequeños especímenes libres de defectos. La máquina universal permite realizar ensayos de flexión estática no destructivos (cuando no superamos el límite elástico de la madera) y destructivos (cuando superamos el límite elástico), obteniendo de esta forma el MOE y el MOR respectivamente.

Como método de evaluar la resistencia mecánica de la madera, destacamos el ensayo de flexión estática por considerarlo el de mayor precisión. Esto se debe al hecho de que durante el ensayo se produce una flecha o deformación importante, que medida mediante un deflectómetro o transductor de desplazamiento, nos permite realizar una medida muy precisa. Otros ensayos mecánicos como por ejemplo el de compresión o el de tracción, que manifiestan una deformación sensiblemente menor, son más difíciles de evaluar con la misma precisión.

Para determinar el módulo de elasticidad (MOE) en *Pinus taeda*, se utilizaron diferentes métodos y equipos, algunos de ellos con principios de funcionamiento similares.

Todos los ensayos fueron realizados con un contenido de humedad de la madera del orden del 16 %.

### **A) Métodos no destructivos**

El principio de los ensayos no destructivos que analizan ondas sonoras o vibraciones, está basado en que las moléculas de un cuerpo ante un estímulo (ejemplo: golpe) vibran elásticamente propagando de esta forma dichas ondas o vibraciones. Los equipos utilizados fueron:

- Método de medición por frecuencia de vibración longitudinal y transversal, FFT Analyzer (Primera Transformada de Fourier). Es un equipo que analiza el sonido producido mediante el impacto de un martillo en un extremo de la probeta, el cual luego de atravesar la misma es captado en el otro extremo por medio de un micrófono. De este sonido se analiza la principal frecuencia de vibración, con la cual se calcula el MOE.
- Flexión estática por método de velocidad de carga constante con máquina universal de ensayos Minebea, de 250 kN de capacidad (condiciones de ensayo: tres apoyos, distancia entre apoyos 2520 mm, velocidad de carga 10 mm/min)
- Flexión estática por método de carga muerta (pesas)
- Métodos de medición del tiempo de propagación de onda de ultra sonido: PUNDIT y SYLVATEST
- Método de medición del tiempo de propagación de onda inducida, FAKOPP

Por mayor información sobre los métodos no destructivos ver: Pérez Favaro, A.; de Castro, R.; Ohta, S./ Ensayos de Propiedades Mecánicas de *Pinus taeda* por Seis Métodos No Destructivos, Informe de investigación N°1 LATU-JICA, 2000

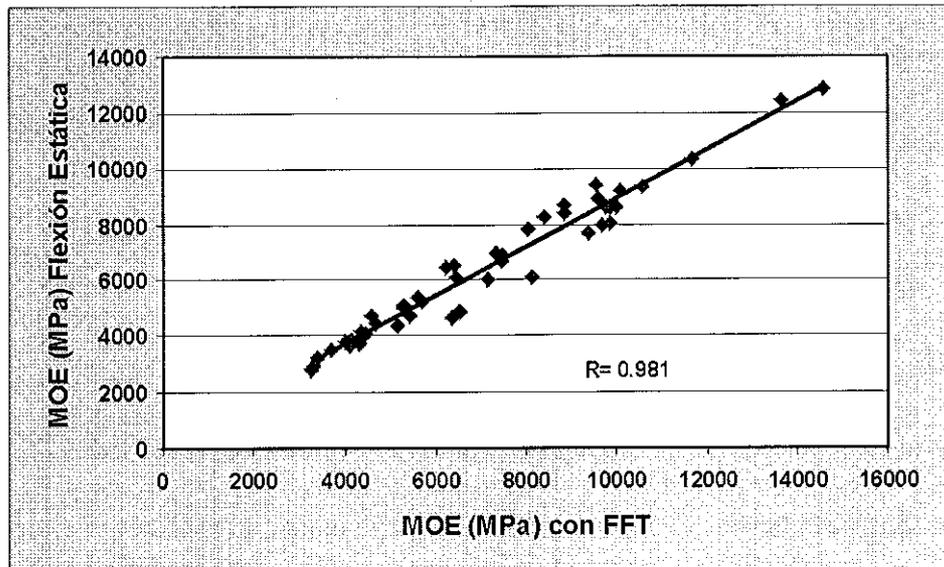
### **B) Métodos destructivos**

Los ensayos destructivos de flexión estática, para determinar el MOE y el módulo de rotura (MOR) fueron realizados en la prensa universal Minebea de 250 kN de capacidad utilizando velocidad de carga constante (condiciones de ensayo: cuatro apoyos, distancia entre apoyos inferiores 2520 mm, distancia entre apoyos superiores 840 mm, velocidad de carga 20 mm/min).

#### 4. RESULTADOS

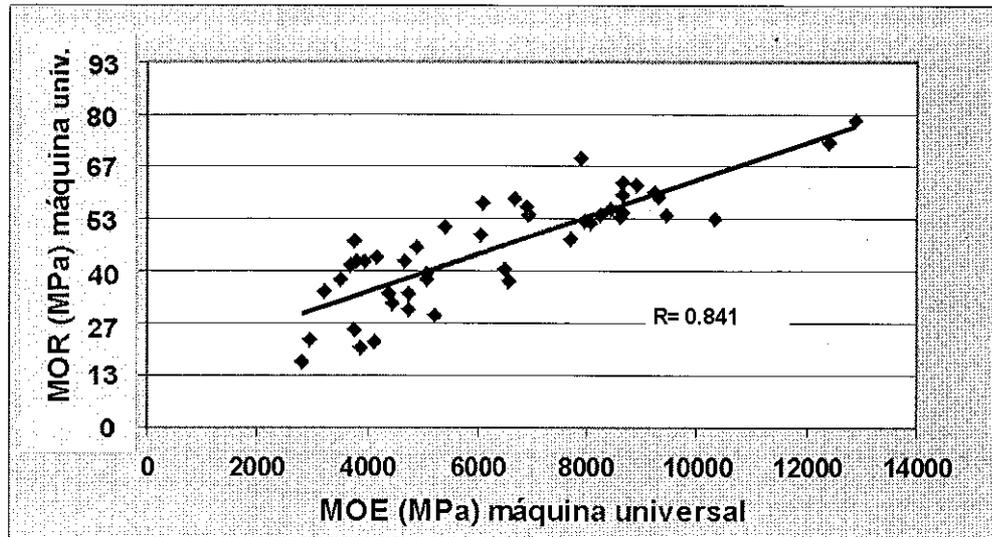
De todos estos métodos nos ocuparemos de dos, el FFT Analyzer y la flexión estática (prensa universal Minebea), por considerarlos los más relevantes para la determinación del MOE y el MOR.

Debemos destacar la gran variación del MOE y MOR que existió entre probetas dentro de un mismo árbol y entre árboles.



**Gráfica N° 1: Relación entre el MOE obtenido por flexión estática (velocidad de carga constante) y el MOE obtenido por el FFT Analyzer**

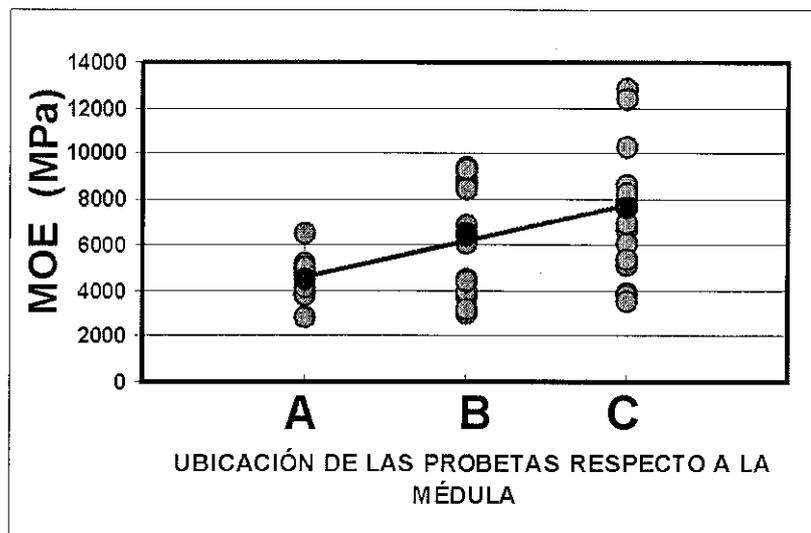
En la Gráfica N° 1 podemos ver la muy buena correlación que existe entre el MOE obtenido por medio del ensayo de flexión estática (velocidad de carga constante) y el MOE obtenido con el equipo no destructivo FFT Analyzer.



**Gráfica N° 2: Relación entre el MOE y el MOR obtenidos por el ensayo flexión estática**

En la Gráfica N° 2 vemos que la correlación entre el MOE y el MOR obtenidos mediante el ensayo de flexión estática es también muy alta.

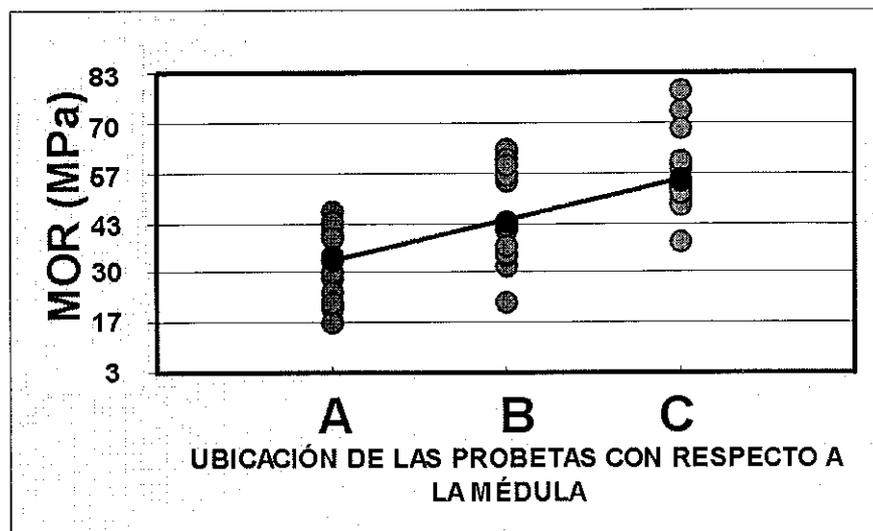
Este alto coeficiente de correlación nos da la pauta de que es posible estimar el MOR de una probeta en base al valor del MOE.



**Gráfica N° 3: Variación del MOE obtenido por método de flexión estática según la ubicación de la probeta dentro de la troza.**

En la Gráfica N° 3 vemos la variación del MOE según la ubicación de la probeta en la troza. La variación es importante dentro de la troza y también entre trozas.

Las tablas A (con médula) son las que tienen los valores promedio más bajos, las tablas B (cercanas a la médula) tienen el valor promedio intermedio, y las tablas C (lejanas de la médula, cercanas a la corteza) son las que tienen valores promedio más altos.



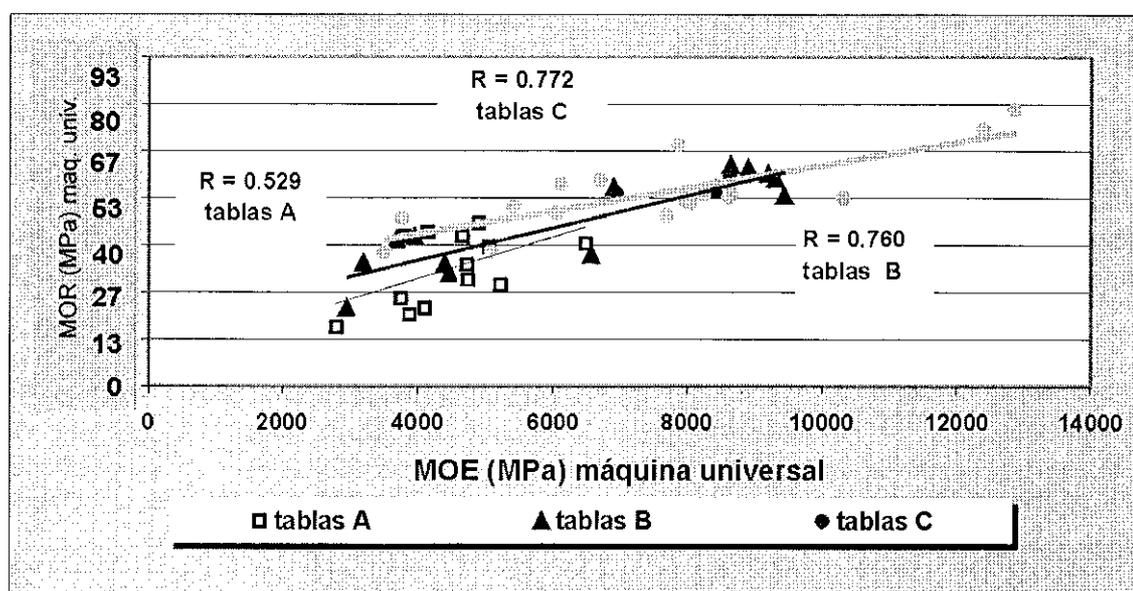
**Gráfica N° 4: Variación del MOR según la ubicación de la probeta dentro de la troza.**

En la Gráfica N°4 vemos que la tendencia del MOR es similar a la del MOE de la Gráfica N°3. En la medida que nos alejamos de la médula observamos que aumentan los valores promedios de MOR.

## 5. CLASIFICACIÓN

Existe una gran variedad de normas o estándares para madera que nos permiten definir la aptitud para los diferentes usos finales, como por ejemplo: normas de clasificación visual, normas de clasificación por resistencia a los distintos esfuerzos (para usos estructurales, etc).

En la Gráfica N° 5 vemos la correlación entre el MOE y el MOR en las distintas categorías de tablas A-B-C. Los puntos y la línea de tendencia correspondientes a las tablas A, se agrupan en la zona de valores más bajos y el coeficiente de correlación es el más bajo también. Los puntos y línea de tendencia que corresponden a las tablas B, se ubican en una zona intermedia, con un coeficiente de correlación medio, mientras que los puntos y línea de tendencia de las tablas C, que se encuentran en una zona de valores mayores, presentan el coeficiente de correlación más alto.



Gráfica N° 5: Correlación entre MOE y el MOR en probetas A-B-C

Si utilizamos las normas JAS (Estándar Agrícola del Japón) para la clasificación de las probetas ensayadas, podemos ver que aquellas probetas que contienen un alto porcentaje de madera juvenil (A), no podrían ser utilizadas como elementos estructurales.

Posibles usos de la madera juvenil	Posibles usos de la madera adulta
Para empaque, pallet, etc.	Construcciones de alta calidad
Muebles de baja calidad	Muebles sin defectos
Construcciones de baja exigencia de esfuerzos	Madera para usos decorativos
Componentes de contrachapados, LVL, MDF, etc.	Madera para preservar

## 6. CONCLUSIONES

1. Como resultado de los ensayos no destructivos realizados, podemos concluir que si bien todos los métodos utilizados fueron de fácil manejo y evaluación, el que creemos más recomendable es el FFT Analyzer. Presentó alta correlación con los métodos de flexión estática (velocidad de carga constante y carga muerta por medio de pesas). También presentó alta reproducibilidad y no altera la madera ensayada (no se clavan accesorios, no se aplica grasa, etc.) como en algunos de los otros métodos utilizados.
2. Se pudo observar que existe una gran variación en el MOE y el MOR dentro y entre los nueve árboles de *Pinus taeda* estudiados.  
Esta gran variación nos demuestra que existen árboles con valores superiores respecto a los demás, lo que creemos nos da la posibilidad de mejorar la calidad de la madera de *Pinus taeda* en el Uruguay por medio de mejoramiento genético y manejo forestal.
3. Es necesario obtener mas información sobre la relación entre los ensayos destructivos y los no destructivos. Conocer esta relación es muy importante para evaluar el comportamiento de la madera y poder seleccionar el método adecuado en cada situación.
4. Creemos que para situar nuestras maderas en el concierto mundial es importante comparar los resultados obtenidos por medio de la evaluación mecánica de nuestros *Pinus*, con otras especies de *Pinus* plantadas en otras latitudes, como el *Pinus radiata* de Nueva Zelanda, el "southern yellow pine" de EEUU, ya que estas maderas son exportadas al mercado internacional.
5. Dada la gran variabilidad de los resultados obtenidos creemos que debemos estudiar aun más esta especie, para poder realizar una correcta caracterización de las plantaciones existentes en nuestro país. Esto es un requisito imprescindible para poder optimizar el uso final.
6. Nuestra gran meta debe ser caracterizar nuestras maderas, mejorar su calidad, industrializarlas aumentando su valor agregado y de esta forma poder competir a nivel internacional con calidad y precio.

# **ANEXO: ENSAYOS DISPONIBLES DEL SECTOR PRODUCTOS FORESTALES (AL 05/02/2001)**

## **PROPIEDADES MECÁNICAS DE MADERAS**

### **PROPIEDADES MECÁNICAS EN PROBETAS PEQUEÑAS Y CLEAR**

CLIVAJE

COMPRESIÓN PARALELA CON MÓDULO ELÁSTICO

COMPRESIÓN PERPENDICULAR

DUREZA JANKA

EXTRACCIÓN DE CLAVOS Y TORNILLOS

CORTE PARALELO

FLEXIÓN DINÁMICA

FLEXIÓN ESTÁTICA: MÓDULO ELÁSTICO Y MÓDULO DE RUPTURA

TRACCIÓN PERPENDICULAR

### **PROPIEDADES MECÁNICAS NO DESTRUCTIVAS EN TABLAS DE TAMAÑO REAL, ROLLIZOS Y MADERA LAMINADA Y ENCOLADA**

MÓDULO ELÁSTICO EN FLEXIÓN CON MÁQUINA UNIVERSAL

MÓDULO ELÁSTICO POR MÉTODO DE LAS PESAS

MÓDULO ELÁSTICO POR VIBRACIÓN LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL

MÓDULO ELÁSTICO POR ULTRASONIDO

MÓDULO ELÁSTICO POR VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE ONDA DE IMPACTO

### **PROPIEDADES MECÁNICAS DESTRUCTIVAS EN TABLAS DE TAMAÑO REAL Y MADERA LAMINADA Y ENCOLADA**

FLEXIÓN ESTÁTICA: MÓDULO ELÁSTICO Y MÓDULO DE RUPTURA

## **CLASIFICACIÓN MECÁNICA DE MADERAS**

## **PROPIEDADES FÍSICAS FUNDAMENTALES DE MADERAS**

LONGITUD DE FIBRA Y DE TRAQUEIDA

PESO ESPECÍFICO APARENTE POR DIMENSIONES

PESO ESPECÍFICO APARENTE POR VOLUMENÓMETRO DE BREUIL

PESO ESPECÍFICO APARENTE BÁSICO POR INMERSIÓN

INFRADENSIDAD O DENSIDAD POR EL MÉTODO DEL MÁXIMO CONTENIDO DE HUMEDAD

CONTRACCIÓN LINEAL Y VOLUMÉTRICA

COLOR

INCLINACIÓN DEL GRANO

ANCHO DE ANILLOS ANUALES

PORCENTAJE DE LEÑO TARDÍO

PORCENTAJE DE DURAMEN

ESPESOR DE PARED

DIÁMETRO DE LUMEN

CONTENIDO DE HUMEDAD (MADERAS Y ÁRBOLES EN PIE)

RUGOSIDAD

RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN CON EL USO DE PILODYN (MADERAS Y ÁRBOLES EN PIE)

OBTENCIÓN DE TARUGOS DE 12 mm DE DIÁMETRO (MADERAS Y ÁRBOLES EN PIE)

OBTENCIÓN DE TARUGOS DE 5 mm DE DIÁMETRO (MADERAS Y ÁRBOLES EN PIE)

DETECCIÓN DE DEFECTOS POR RAYOS X

CLASIFICACIÓN VISUAL DE MADERAS POR DEFECTOS

ESTUDIOS ANATÓMICOS DE LA MADERA

## **PROPIEDADES DE SECADO DE MADERAS**

CARACTERÍSTICAS DE SECADO EN HORNO DE LABORATORIO

CARACTERÍSTICAS DE SECADO AL AIRE

## **ENSAYO DE MADERAS PRESERVADAS CON CCA**

RETENCIÓN DE ÓXIDOS

## ELABORACIÓN DE PULPA DE CELULOSA Y DE PAPEL

ALCALI RESIDUAL Y CONSUMO DE ÁLCALI EN LICOR NEGRO  
ALFA CELULOSA  
APLICACIÓN DE COLA SUPERFICIAL CON PRENSA DE ENCOLADO  
APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO CON ESTUCADORA DE CUCHILLA  
CLASIFICACIÓN DE FIBRAS BAUER MC NETT  
COEFICIENTE DE DISPERSIÓN DE HOJAS DE LABORATORIO  
CONTENIDO DE HUMEDAD DE CHIPS  
CHIPEADO Y CLASIFICACIÓN DE CHIPS  
DESGARRO DE HOJAS DE LABORATORIO  
DIGESTIÓN DE CHIPS Y RENDIMIENTO DE COCCIÓN  
DESTINTADO DE PAPEL CON CELDA DE FLOTACIÓN  
ESPESOR DE HOJAS DE LABORATORIO  
EXTRAÍBLES POR SOLVENTES  
FABRICACIÓN DE HOJAS DE LABORATORIO PARA ENSAYOS FÍSICOS  
FABRICACIÓN DE HOJAS DE LABORATORIO PARA GRADO DE BLANCO  
FABRICACIÓN DE PAPEL EN MÁQUINA MINIATURA CONTINUA  
GRADO DE BLANCO DE PULPA  
GRAMAJE DE HOJAS DE LABORATORIO  
INDICE DE DRENAJE DE PULPA DE CELULOSA (CANADIAN STANDARD FREENESS)  
LIGNINA INSOLUBLE EN ÁCIDO  
LIGNINA SOLUBLE EN ÁCIDO  
NÚMERO DE KAPPA  
OPACIDAD DE HOJAS DE LABORATORIO  
PREPARACIÓN DE ESTUCO  
REFINACIÓN DE PULPA DE CELULOSA CON HOLANDESA VALLEY  
REFINACIÓN DE PULPA DE CELULOSA CON MOLINO DE DISCOS  
REFINACIÓN DE PULPA DE CELULOSA CON MOLINO PFI  
REVENTAMIENTO DE HOJAS DE LABORATORIO  
REVERSIÓN DEL GRADO DE BLANCO  
SUPERCALANDRADO DE PAPEL ESTUCADO  
TAMIZADO DE PULPA DE CELULOSA  
TRACCIÓN DE HOJAS DE LABORATORIO  
VISCOSIDAD DE ESTUCO

## CARACTERIZACIÓN DEL PAPEL

ABRASIÓN TABER  
ABSORCIÓN DE ACEITE IGT  
ABSORCIÓN DE ACEITE TOYOSEIKI  
ABSORCIÓN DE AGUA COBB  
ABSORCIÓN DE TINTA K & N  
ALFA CELULOSA  
ALMIDÓN EN ENCOLADO SUPERFICIAL  
BRILLO ESPECULAR A 75º  
CENIZAS  
CLORUROS EN PAPELES  
COLOFONIA EN PAPEL Y CARTÓN  
COLOR  
COMPOSICIÓN FIBROSA  
CONTENIDO DE HUMEDAD  
CURL EN ESTUFA  
CURL EN RESMAS  
DELAMINACIÓN POR CONGELAMIENTO  
DESGARRO ELMENDORF  
DIMENSIONES DE LA HOJA  
DIRECCIÓN DE MÁQUINA  
DOBLES PLIEGUES  
ELONGACIÓN  
ESPESOR Y DENSIDAD APARENTE  
EXPANSIÓN DE AGUA FENCHEL  
FIBRAS DE SEGURIDAD  
FILIGRANA (MARCAS DE AGUA)  
FLUORESCENCIA  
FRICCIÓN DINÁMICA  
FRICCIÓN ESTÁTICA  
GRADO DE BLANCO DE PIGMENTOS  
GRADO DE BLANCO DIRECCIONAL

GRADO DE BLANCO POR ILUMINACIÓN DIFUSA  
GRADO DE ENCOLADO STÖCKGIT  
GRAMAJE  
HIERRO EN PAPELES  
HIGROEXPANSIVIDAD (DOS PUNTOS)  
LISURA BENDTSEN  
MUESTREO PARA DETERMINAR LA CALIDAD PROMEDIO  
OPACIDAD DIRECCIONAL  
OPACIDAD DIFUSA  
PH SUPERFICIAL  
PH EN EXTRACTO ACUOSO EN CALIENTE  
PH EN EXTRACTO ACUOSO EN FRÍO  
POROSIDAD BENDTSEN  
POROSIDAD GURLEY  
REACCIÓN CON PRODUCTOS QUÍMICOS  
REPINTADO IGT  
RESERVA ALCALINA  
RESISTENCIA AL ARRANQUE SUPERFICIAL (MÉTODO CERAS DENNISON)  
RESISTENCIA AL ARRANQUE EN SECO (IGT)  
RESISTENCIA AL ARRANQUE EN HÚMEDO (IGT)  
REVENTAMIENTO MULLEN (EN HÚMEDO)  
REVENTAMIENTO MULLEN (EN SECO)  
RIGIDEZ  
SCATTERING (PODER DE DISPERSIÓN)  
TACK DE TINTAS PARA IMPRESIÓN POR SISTEMA OFFSET  
TEA (ABSORCIÓN DE ENERGÍA EN TRACCIÓN)  
TRACCIÓN  
TRACCIÓN EN HÚMEDO  
TRACCIÓN Z  
TRANSFERENCIA DE TINTA Y TRANSPARENCIA DE LA IMPRESIÓN  
VELOCIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA (PAPEL TISSUE)  
VISCOSIDAD BROOKFIELD

**Laboratorio Tecnológico del Uruguay**  
**Sector Productos Forestales**

Av. Italia 6201- CP. 11500-Montevideo, Uruguay  
Tel. (+598-2)601.3724 Int. 321 Fax:(+598-2)601.8554  
e-mail: rdecas@latu.org.uy