

## NOTA TÉCNICA N° 9

### Evaluación de la Resistencia a la Adhesión y Falla en Madera en *Eucalyptus grandis*, *Pinus taeda*, *Pinus elliottii*, *Cedrela spp* (Cedro) y *Tabebuia ipe* (Lapacho).

Ing. Agr. Sebastián Quagliotti ([squaglio@latu.org.uy](mailto:squaglio@latu.org.uy) <http://www.latu.org.uy>)  
Departamento de Proyectos Forestales  
LATU

#### INTRODUCCIÓN

La presente nota técnica se enmarca dentro de una serie de estudios que se vienen desarrollando dentro del Grupo de Encastres de Madera Sólida (GT6). Dicho grupo está integrado por la Asociación de Industriales de la Madera del Uruguay, la Universidad del Trabajo del Uruguay y el Laboratorio Tecnológico del Uruguay.

En el trabajo que aquí se presenta se analizó la adhesividad de cinco especies de madera: *Eucalyptus grandis*, *Pinus taeda*, *Pinus elliottii*, *Cedrela spp* (Cedro) y *Tabebuia ipe* (Lapacho).

La evaluación se realizó tomando en cuenta la Resistencia a la adhesión y el Porcentaje de Falla en Madera.

Palabras claves: Resistencia a la Adhesión, Falla en Madera, PVA, ISOCIANATO

#### MATERIALES

##### MADERA

- *Eucalyptus grandis*: se seleccionaron tablas de árboles de 12 años, sin poda y con raleo provenientes del departamento de Rivera.
- *Pinus taeda*: se seleccionaron tablas de árboles de 24 años, con poda y raleo provenientes del departamento de Río Negro.
- *Pinus elliottii*: se seleccionaron tablas de árboles de 24 años, con poda y raleo provenientes del departamento de Río Negro y tablas de árboles de 40 años de trozas basales, sin poda y raleo provenientes del departamento de San José.
- *Cedrela spp* y *Tabebuia ipe*: tablas de origen y edad desconocido suministradas por Bomel S.A (ADIMAU).

##### ADHESIVOS

Los adhesivos utilizados en el presente trabajo fueron:

Adhesivo	Contenido no volátil	Relación de mezcla	Proveedor
Emulsión de polivinil acetato TOR 101 (PVA A)	49	-----	Riolsa S.A
Emulsión de polivinil acetato TOR 101/49 (PVA B)	44	-----	Riolsa S.A
Polímero hidrosoluble Isocianato KR-134	60	100/15	Koyo Sango CO. Ltd

## **PROCEDIMIENTO**

Para la realización de este estudio se utilizaron las siguientes normas:

- **JIS K6851** y **EN 205** para la elaboración de las probetas y la determinación de la resistencia a la adhesión, con la salvedad de que el largo usado de las probetas es de 100 mm.

A continuación se presenta la secuencia de etapas para la realización del presente trabajo:

- **Elaboración de tablillas para elaborar probetas**

Para cada especie se elaboraron tablillas a partir de las tablas libre de defectos. Todas las tablillas poseen una sección transversal de corte radial. Las dimensiones de las mismas son: 100 mm x 20 mm x 5 mm

- **Determinación del contenido de humedad de las tablillas**

De cada especie se seleccionaron 10 tablillas para determinar el contenido de humedad. Se determinó por el método de secado en estufa. Primero se pesaron las tablillas y luego fueron colocadas en estufa secándose a  $103 \pm 2$  °C hasta llegar a peso constante.

Los valores de humedad fueron los siguientes:

Tabla N° 1. Contenido de humedad de las tablillas según especie.

Especie	Contenido de humedad (%)
<i>Tabebuia ipe</i> (Lapacho)	9,8
<i>Cedrela spp.</i> (Cedro)	12,9
<i>Pinus taeda</i>	10,9
<i>Pinus elliottii</i>	10,6
<i>Eucalyptus grandis</i>	10,3

- **Determinación de la densidad de las tablillas**

A cada una de las tablillas se le determinó el largo y el ancho utilizando un calibre digital y el espesor utilizando un micrómetro digital. Luego se procedió al peso de las mismas, para el posterior cálculo de la densidad. Con los valores obtenidos se clasificaron las tablillas de menor a mayor valor de densidad para poder encolar tablillas de similar densidad.

- **Acondicionamiento previo al encolado**

Las tablillas fueron acondicionadas en una cámara climatizada a 20 °C y 65 % de H.R hasta que alcanzaron el equilibrio luego de dos pesadas consecutivas de los testigos.

El contenido de humedad al que llegaron las tablillas luego de ser acondicionadas se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 2. Contenido de humedad de las tablillas acondicionadas a 20 °C y 65 % H.R según especie.

Especie	Contenido de humedad de equilibrio (%)
<i>Tabebuia ipe</i> (Lapacho)	11,2
<i>Cedrela spp.</i> (Cedro)	14,0
<i>Pinus taeda</i>	11,3
<i>Pinus elliottii</i>	11,1
<i>Eucalyptus grandis</i>	11,1

- **Encolado**

Una vez acondicionadas se encolaron pares de tablillas de similar densidad aplicando una carga de adhesivo de 250-300 g/m<sup>2</sup>. Se prensaron conjuntos de 10 probetas y se utilizó una presión de 10 o 12 kgf/cm<sup>2</sup> dependiendo de la especie. Para *Eucalyptus grandis* y *Tabebuia ipe* se utilizó 12 kgf y para los 2 pinos y el *Cedrela spp* 10 kgf. Para dar dicha presión a las probetas se utilizó un torquímetro. El fraguado se realizó con las probetas sujetas a las prensas durante 24 horas a temperatura y humedad ambiente.

- **Acondicionamiento de las probetas previo al ensayo de resistencia**

Se realizó un acondicionamiento a 20 °C y 65 % de H.R (curado de las probetas) por un período de una semana.

- **Corte de las probetas**

A cada probeta se le practicaron 2 ranuras de 3 mm para obtener un área de ensayo de 20 mm x 13 mm aproximadamente. En la figuras N° 1 y N° 2 se muestra la geometría de la probeta a ensayar y sus dimensiones.

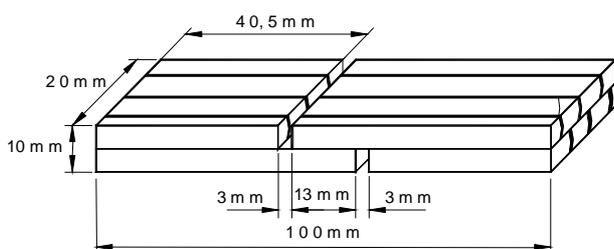


Figura N°1 . Geometría de las probetas encoladas



Figura N° 2. Probetas a ensayar

- **Tratamiento realizados**

Los tratamientos a las que fueron sometidas las probetas son para crear condiciones de envejecimiento previas a la realización del ensayo. Además se ensayaron probetas en condiciones secas. La norma utilizada fue JIS K6857.

**Tratamiento 1**

En este tratamiento las probetas luego de estar una semana en cámara climatizada a una H.R de 65 % y 20 °C. Una vez alcanzado el equilibrio se ensayaron en esas condiciones.

**Tratamiento 2**

Las probetas a ensayar fueron sometidas a condiciones de aire con una alta humedad relativa (90 %) y condiciones de secado. El tratamiento consistía en:

- Colocar probetas en cámara climatizada a una H.R de 90 % y 20 °C por 24 horas.
- Secado en estufa a 50°C por 24 horas.
- Colocar probetas en cámara climatizada a una H.R de 90 % y 20 °C por 72 horas.
- Secado en estufa a 50°C por 48 horas.
- Colocar probetas en cámara climatizada a una H.R de 65 % y 20 °C por un lapso de una semana previa al ensayo.

Dicho tratamiento fue realizado tanto para las probetas encoladas con Isocianato como las probetas encoladas con PVA. Por ser menos agresivo se incluyen las probetas encoladas con PVA. Para dicho tratamiento se utilizaron estufa de secado y cámara climatizada con control de las condiciones de humedad y temperatura.

**Tratamiento 3**

Las probetas a ensayar en húmedo fueron sometidas a un tratamiento Húmedo-Seco-Húmedo y el mismo consistía en:

- Colocar probetas en baño de agua hirviendo durante 4 horas
- Secado en estufa a 60 °C durante 20 horas
- Colocar probetas en baño de agua hirviendo durante 4 horas
- Colocar probetas en agua fría por 1 hora

Este tratamiento solamente fue realizado a las probetas encoladas con Isocianato debido a la agresividad del mismo. Para dicho tratamiento se utilizó un baño termostatzado con control de temperatura y una estufa de secado.

- **Ensayo**

Previo al ensayo se determinaron las dimensiones del área de ensayo. El ensayo se realizó en una máquina universal de ensayos dentro de una cámara climatizada a 20 °C y 65 % de humedad relativa como se muestra en las figuras N° 3 y N° 4.



Figura N° 3. Máquina Universal

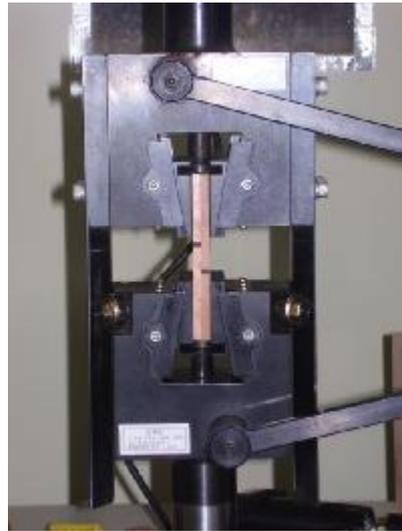


Figura N° 4. Probeta siendo ensayada

Se aplicó tracción paralela a la unión encolada, con una velocidad de aplicación de 10 mm/minuto en todos los casos.

Se registró la carga máxima aplicada en Newton y se calculó la Resistencia de la unión encolada como el esfuerzo unitario máximo, empleando la siguiente fórmula:

$$\text{Resistencia a la unión encolada (N/mm}^2\text{)} = \text{Carga máxima aplicada (N)} / \text{Área de ensayo (mm}^2\text{)}$$

$$\text{N/mm}^2 = \text{MPa}$$

Luego del ensayo se determinó, mediante una inspección visual, el porcentaje de Falla en Madera de cada probeta. Este corresponde al cociente entre el área de ensayo donde se produjo la rotura en la madera y el área de ensayo de la probeta.

## **RESULTADOS**

### **Resistencia de la unión encolada y Porcentaje de Falla en Madera**

En las tablas N° 3 y N° 4 se presentan los valores de Resistencia de la unión encolada y Falla en madera obtenidos para los ensayos de las probetas encoladas con PVA e Isocianato según tratamiento respectivamente. Para cada tratamiento se ensayaron 10 probetas por especie. Estos datos se muestran gráficamente en los gráficos N° 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

Tabla N° 3. Resistencia a la unión encolada y Falla en Madera para cada especie y tratamiento utilizando probetas encoladas con PVA.

Tratamiento	Resistencia a la unión encolada (MPa) y Falla en Madera (%)									
	<i>Eucalyptus grandis</i>		<i>Cedrela spp</i> (Cedro).		<i>Tabebuia ipe</i> (Lapacho)		<i>Pinus elliottii</i>		<i>Pinus taeda</i>	
	MPa	%	MPa	%	MPa	%	MPa	%	MPa	%
Tratamiento 1 usando PVA con 49% de sólidos.(*)	<b>7,2</b>	90	<b>6,1</b>	92	<b>10,1</b>	22	<b>5,0</b>	77	<b>6,2</b>	70
Tratamiento 1 usando PVA con 44 de sólidos.(*)	<b>8,4</b>	66	<b>8,2</b>	48	<b>7,8</b>	17	<b>6,4</b>	56	<b>6,5</b>	32
Tratamiento 2 usando PVA con 44 % de sólidos(**)	<b>8,4</b>	48	<b>8,0</b>	38	<b>4,1</b>	7	<b>5,9</b>	16	<b>5,8</b>	27

(\*) Ensayo en condiciones secas (65% Humedad relativa y 20 °C)

(\*\*) Ensayo luego de que las probetas fueron sometidas a ciclos de condiciones de aire con una alta humedad relativa (90 %) y condiciones de secado.

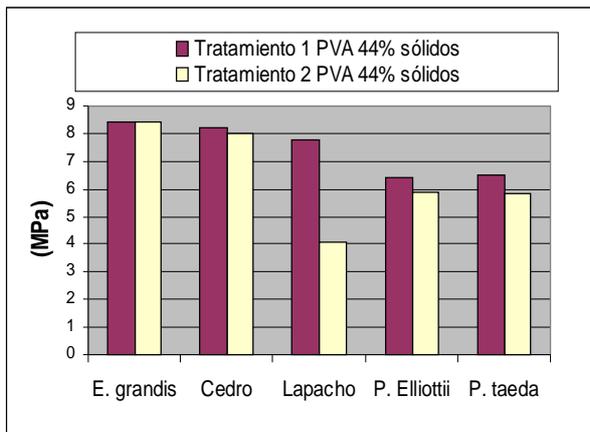
Tabla N° 4. Resistencia a la unión encolada y Falla en Madera para cada especie y tratamiento utilizando probetas encoladas con Isocianato.

Tratamiento	Resistencia a la unión encolada (MPa) y Falla en Madera (%)									
	<i>Eucalyptus grandis</i>		<i>Cedrela spp</i> (Cedro).		<i>Tabebuia ipe</i> (Lapacho)		<i>Pinus elliottii</i>		<i>Pinus taeda</i>	
	MPa	%	MPa	%	MPa	%	MPa	%	MPa	%
Tratamiento 1.(*)	<b>9,8</b>	72	<b>6,9</b>	97	<b>12,5</b>	33	<b>6,8</b>	88	<b>8,9</b>	69
Tratamiento 2(**)	<b>10,0</b>	60	<b>7,7</b>	79	<b>12,1</b>	24	<b>7,2</b>	61	<b>9,2</b>	80
Tratamiento 3(***)	<b>3,0</b>	69	<b>4,6</b>	61	<b>2,1</b>	2	<b>3,0</b>	41	<b>3,6</b>	38

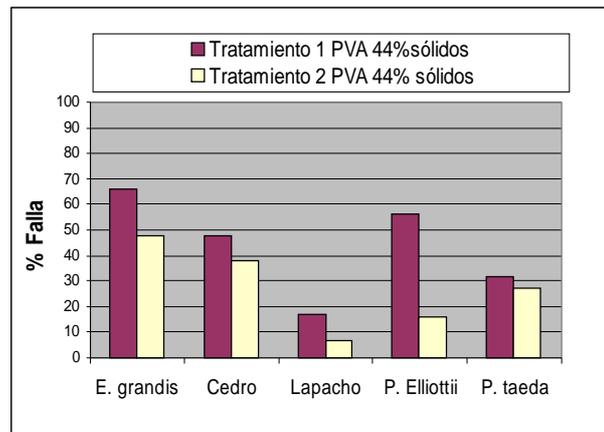
(\*) Ensayo en condiciones secas (65% Humedad relativa y 20 °C)

(\*\*) Ensayo luego de que las probetas fueron sometidas a ciclos de condiciones de aire con una alta humedad relativa (90 %) y condiciones de secado.

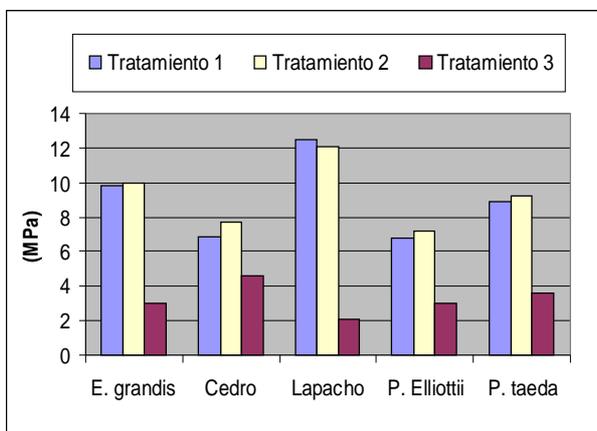
(\*\*\*) Ensayo en húmedo luego de que las probetas fueron sometidas a un tratamiento en agua hirviendo, seguido de un secado y luego otro tratamiento en agua hirviendo.



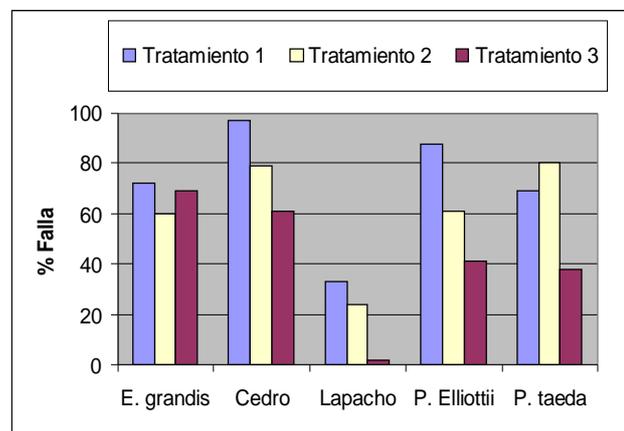
**Gráfico N° 1.** Resistencia a la unión encolada según tratamiento para probetas encoladas con PVA 44 % sólidos.



**Gráfico N° 2.** Falla en madera según tratamiento para probetas encoladas con PVA 44 % sólidos.



**Gráfico N° 3.** Resistencia a la unión encolada según tratamiento para probetas encoladas con Isocianato.



**Gráfico N° 4.** Falla en madera según tratamiento para probetas encoladas con Isocianato.

Observando en las Tablas N° 3 y N° 4, los resultados de los ensayos en condiciones secas (Tratamiento 1), en general las probetas encoladas con Isocianato presentan valores superiores de resistencia a la adhesión que las encoladas con PVA, salvo las probetas de Cedro encoladas con PVA con un 44 % de sólidos donde presentan un valor promedio 16 % mayor que las encoladas con Isocianato. Lo mismo ocurre con la Falla en madera salvo en *Eucalyptus grandis* donde las probetas encoladas con PVA con 49 % de sólidos presentan un valor promedio de 90 % y las encoladas con Isocianato un 72 %.

Para el ensayo en condiciones secas en todas las especies las probetas encoladas con PVA con 44 % de sólidos presentan valores promedio mayores a las encoladas con PVA con 49 % de sólidos exceptuando al Lapacho como se observa en la Tabla N°3. Esto no concuerda con lo esperado ya que se esperaba que el PVA con mayor carga de sólidos iba a presentar valores de resistencia mayor. Para Falla en madera sí se observa que las probetas encoladas con el PVA con mayor carga de sólidos presenta valores promedio superiores en todas las especies estudiadas.

En los gráficos N° 1 y N° 2 se comparan los resultados obtenidos de las probetas encoladas con PVA con 44 % sólidos tanto en condiciones secas como luego de ser sometidas a condiciones de alta humedad y secado (Tratamiento 2). Los valores de Resistencia a la Adhesión, para todas las especies salvo Lapacho, no presentan grandes diferencias entre ambos tratamientos. Al comparar los valores de Falla en Madera ahí sí se ve que luego del Tratamiento 2 el valor promedio de Falla en Madera disminuye en todas las especies estudiadas.

Un comportamiento similar ocurre con los resultados obtenidos de Resistencia a la Adhesión con las probetas encoladas con Isocianato tanto en condiciones secas como luego del Tratamiento 2. Se observa en la tabla N° 4 y los gráficos N° 3 y N° 4, que luego del tratamiento no hay grandes diferencias en el valor de resistencia. No ocurre lo mismo con la Falla en Madera donde disminuye la misma luego de ser sometidas las probetas a condiciones de alta humedad y secado salvo para *Pinus taeda*.

Donde sí se pueden ver diferencias apreciables tanto en los valores de Resistencia como de Falla en Madera es al comparar las probetas encoladas con Isocianato y ensayadas en condiciones secas con las ensayadas luego del Tratamiento 3 (ciclos de agua hirviendo y secado). En todos los casos los valores disminuyen luego del tratamiento. Esto se observa en la Tabla N° 4 y en los gráficos N° 3 y N° 4.

### **Relación entre la densidad de la madera y la resistencia a la adhesión según adhesivo y la densidad de la madera y la falla en madera según adhesivo**

Para los 3 adhesivos estudiados, en ensayos en condiciones secas (Tratamiento 1) se puede apreciar que a medida que aumenta la densidad aumenta la resistencia a la adhesión como se observa en el gráfico N° 5. Lo opuesto ocurre con la Falla en madera, a medida que aumenta la densidad disminuye la Falla como se observa en el gráfico N° 6. Los coeficientes de correlación entre ambas variables (Resistencia y Falla en madera) y la densidad de la madera fueron altos y positivos en todos los casos.

Gráfico N° 5. Relación entre Resistencia a la Adhesión densidad de la madera utilizando Isocianato.

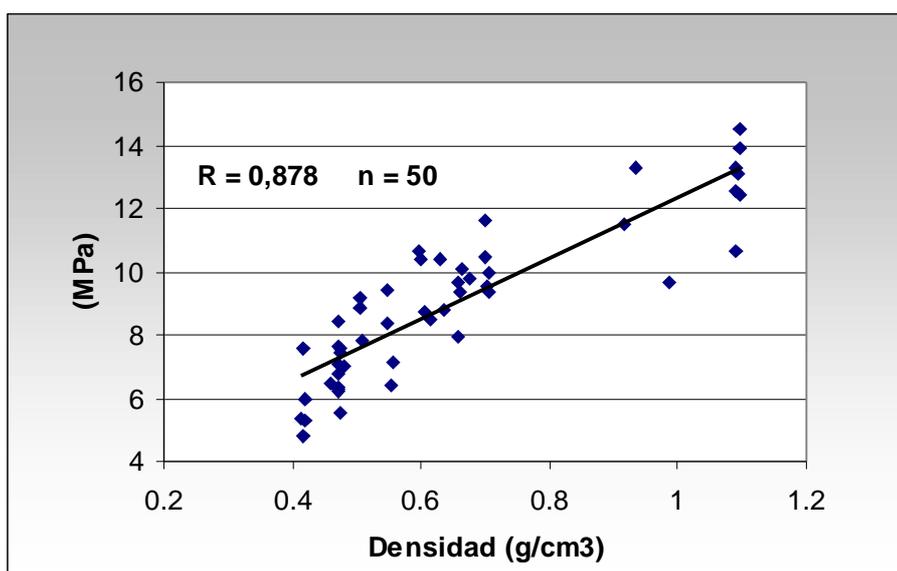
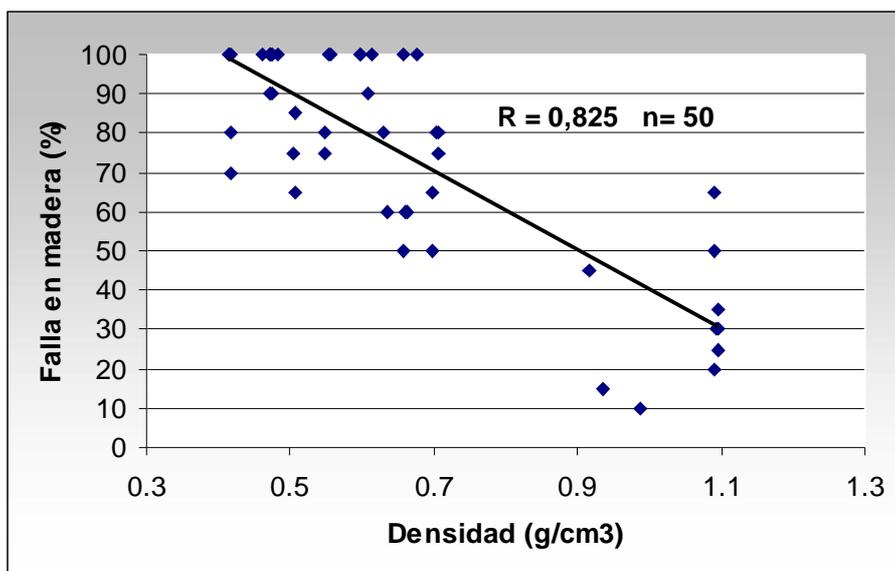


Gráfico N° 6. Relación entre la Falla en Madera y densidad de la madera utilizando Isocianato.



## CONCLUSIONES

- ü Se pudo comprobar la relación entre la densidad de la madera y la Resistencia a la Adhesión. A medida que aumenta la densidad aumenta la Resistencia para los tres Adhesivos estudiados, presentando altos valores de correlación.
- ü Lo mismo ocurre con la relación entre la densidad y la Falla en Madera. A medida que aumenta la densidad de la madera la Falla disminuye para los tres Adhesivos estudiados.
- ü En general las especies de latifoliadas presentan valores promedio de Resistencia a la Adhesión mayores que en las especies de coníferas.
- ü Los valores altos de Resistencia luego del ensayo en condiciones secas para Lapacho se deben principalmente a los valores altos de densidad de dicha madera comparados con las demás especies.
- ü Comparando los valores de las otras dos latifoliadas de similar densidad, *Eucalyptus grandis* presenta valores de Resistencia y Falla en madera superiores en general que Cedro.
- ü Entre las coníferas *Pinus elliottii* presenta valores superiores en general que *Pinus taeda* tanto de Resistencia como de Falla en madera.
- ü Para poder visualizar mejor la relación entre densidad y Resistencia a la Adhesión y la relación entre densidad y Falla en Madera sería aconsejable estudiar en un futuro otras especies con un rango entre 0,7 – 0,9 g/cm<sup>3</sup>.

## **REFERENCIAS**

- Ü Benites Maciel, L. 2003: Informe de Investigación N° 12. Adhesividad de Maderas Nacionales. Proyecto de Tecnología de Ensayo de Productos Forestales, LATU-JICA (1998-2003)
- Ü EN 205:1991. Métodos de ensayo para Adhesivos para la madera de uso no estructural.
- Ü JIS K 6851-1994. Testing Methods for tensile strength of wood-to-wood adhesive bonds.