

**Proyecto de  
Tecnología de Ensayo  
de Productos Forestales  
LATU-JICA  
(1998-2003)**

**Adhesividad de Maderas Uruguayas**

**Luciano Benites Maciel**

**Informe de Investigación N° 12  
Agosto 2003**



## **PRÓLOGO**

El presente trabajo es el duodécimo de la serie: “Informes de investigación”, que reunirá estudios realizados como parte del “Proyecto de Tecnología de Ensayo de Productos Forestales” entre el Sector Productos Forestales del LATU y JICA (Agencia de Cooperación Internacional del Japón) en Montevideo, Uruguay desde 1998 hasta 2003.

Con esta serie el LATU pretende la difusión tecnológica como una contribución al desarrollo de la industria forestal.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Hiromu Kajita por el invaluable apoyo brindado en la planificación, estudio y ejecución de los trabajos.

Al Ing. Quím. Raúl de Castro, Jefe del Sector Productos Forestales del LATU, por su supervisión.

Al Ing. Toshinari Tanaka, líder del Proyecto de Cooperación JICA-LATU.

Al Sr. Kazuo Shiono por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

Al equipo técnico del Sector Productos Forestales y JICA.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	6
2. OBJETIVOS .....	6
3. GENERALIDADES .....	6
4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	10
4.1. MADERA .....	10
4.2. ADHESIVOS .....	10
4.3. MÉTODOS .....	10
4.4. PROCEDIMIENTOS .....	11
4.4.1. TABLILLAS PARA ELABORAR PROBETAS .....	11
4.4.1.1. TIPOS DE TABLILLAS .....	11
4.4.1.2. ACONDICIONAMIENTO DE TABLILLAS .....	11
4.4.1.3. CONTENIDO DE HUMEDAD DE TABLILLAS .....	11
4.4.1.4. DENSIDAD DE TABLILLAS .....	12
4.4.2. ENCOLADO DE TABLILLAS .....	12
4.4.3. ACONDICIONAMIENTO DE TABLILLAS ENCOLADAS .....	14
4.4.4. TRATAMIENTO H .....	14
4.4.5. PROBETAS DE MADERA SÓLIDA .....	15
4.4.6. ENSAYO .....	16
4.4.6.1. CONTENIDO DE HUMEDAD DE PROBETAS ENSAYADAS .....	16
5. RESULTADOS .....	17
5.1. PROBETAS TIPO RADIAL-RADIAL DE MADERA SÓLIDA : ESFUERZO CORTANTE (ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA) .....	17
5.2. PROBETAS ENCOLADAS TIPO RADIAL - RADIAL : RESISTENCIA DE ADHESIÓN (ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA Y HÚMEDA) .....	17
5.3. PROBETAS ENCOLADAS : TIPO RADIAL - RADIAL : FALLA EN MADERA (ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA Y HÚMEDA) .....	19
5.4. PROBETAS ENCOLADAS DE <i>Pinus elliottii</i> TIPO E - E (Leño Temprano-Leño Temprano) Y L - L (Leño-Tardío-Leño Tardío): RESISTENCIA DE ADHESIÓN (ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA Y HÚMEDA) .....	20
5.5. PROBETAS ENCOLADAS DE <i>Pinus elliottii</i> TIPO E - E (Leño Temprano-Leño Temprano) Y L - L (L. Tardío-L. Tardío): FALLA EN MADERA (ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA Y HÚMEDA) .....	20
5.6. PROBETAS ENCOLADAS DE <i>Pinus taeda</i> TIPO E - E (Leño Temprano-Leño Temprano) Y L - L (Leño-Tardío-Leño Tardío): Y L - L : RESISTENCIA DE ADHESIÓN (ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA Y HÚMEDA) .....	21
5.7. PROBETAS ENCOLADAS DE <i>Pinus taeda</i> TIPO E - E (Leño Temprano-Leño Temprano Y L - L (Leño-Tardío-Leño Tardío): FALLA EN MADERA (ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA Y HÚMEDA) .....	21
5.8. PROBETAS ENCOLADAS DE <i>Pinus elliottii</i> TIPO E - L (Leño Temprano-Leño Tardío): RESISTENCIA DE ADHESIÓN (ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA Y HÚMEDA) .....	22
5.9. PROBETAS ENCOLADAS DE <i>Pinus elliottii</i> TIPO E - L (Leño Temprano-Leño Tardío): FALLA EN MADERA (ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA Y HÚMEDA) .....	22
5.10. PROBETAS ENCOLADAS DE <i>Pinus taeda</i> TIPO E - L (Leño Temprano-Leño Tardío): RESISTENCIA DE ADHESIÓN (ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA Y HÚMEDA) .....	22
5.11. PROBETAS ENCOLADAS DE <i>Pinus taeda</i> TIPO E - L (Leño Temprano-Leño Tardío): FALLA EN MADERA (ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA Y HÚMEDA) .....	23
6. DISCUSIÓN .....	23
7. CONCLUSIONES .....	28
8. REFERENCIAS .....	30

## ADHESIVIDAD DE MADERAS URUGUAYAS

### RESUMEN

En el trabajo que aquí se presenta, se analizó la adhesividad de cinco especies forestales de nuestro país: *Eucalyptus tereticornis*, *E. globulus*, *E. grandis*, *Pinus elliottii* y *P. taeda*.

Se utilizaron tres adhesivos: Emulsión de Polivinil acetato (**PVA**), Polímero hidrosoluble Isocianato (**IC**) y Resina en base a Resorcinol-Formol (**R**).

El estudio se realizó tomando como base probetas de dos láminas radiales (y también tangenciales en el caso de coníferas), que fueron ensayadas en dos condiciones: Seca (**S**) para todos los adhesivos y Húmeda (luego de tratamiento húmedo-seco-húmedo (**H**) para **IC** y **R**), con procedimientos basados en las normas **JIS K6851** (Japanese Industrial Standard) y **EN 205** (Norma Europea). Al mismo tiempo se elaboraron probetas de madera sólida (radiales y de igual geometría que las encoladas) con la finalidad de evaluar los resultados de ensayos en condición seca de las probetas encoladas, para todas las especies.

Los ensayos consistieron en la aplicación de tracción en dirección de las líneas encoladas o paralela a la dirección de grano (para probetas de madera sólida) con la misma velocidad de aplicación de carga en todos los casos.

La evaluación se realizó tomando en cuenta: Resistencia de adhesión, Porcentaje de falla en madera, Retención del poder adhesivo luego del tratamiento **H**, Esfuerzo cortante y Densidad de las probetas.

---

**PALABRAS CLAVE** : Resistencia de adhesión, Falla en madera, Densidad, Retención del poder adhesivo, Esfuerzo cortante.

---

## ADHESION OF URUGUAYAN WOODS

### SUMMARY

In the present study, gluability of five wood species from Uruguay was investigated: *Eucalyptus tereticornis*, *E. globulus*, *E. grandis*, *Pinus elliottii* and *P. taeda*.

Three adhesives were tested: **PVA** emulsion, Water based polymer-isocyanate (**IC**) and Resorcinol-formaldehyde resin (**R**).

The study was performed on test specimens consisting of two-ply radial sections (and also tangential in the case of pines) which were tested under two conditions: dry for all adhesives and wet (after wet - dry - wet treatment) for **IC** and **R**, following testing methods based on **JIS K 6851** (Japanese Industrial Standard) and **EN 205** standards.

At the same time, solid wood shear test specimens were prepared (radial and of same size) as to evaluate the test results in dry condition of the glued samples for all the species.

Evaluation was based upon: Bonding strength, wood failure, bonding strength retention after **H** treatment, shear strength and density.

---

**KEY WORDS**: Bonding strength, wood failure, density, bonding strength retention, shear strength.

---

## **1. INTRODUCCIÓN**

Grandes cantidades de adhesivos son utilizadas en la fabricación de variados productos derivados de la madera, tales como madera laminada y encolada (arcos, vigas), tableros laminados de madera contrachapada, tableros de partículas, de fibras, de virutas orientadas y mixtos. Por otra parte, los adhesivos se usan para encolar materiales en la construcción, particularmente sistemas de tableros para pisos y paredes y en aplicaciones no estructurales, tales como cubiertas para pisos, techos, paredes, cielorrasos y mueblería entre otros.

La unión adhesiva de componentes de madera ha tenido un papel esencial en el desarrollo y crecimiento de la industria de los productos forestales y ha sido un factor clave en la utilización eficiente de los recursos madereros.

Con el objeto de obtener información acerca de la naturaleza específica de la adherencia, el estudio que aquí se presenta examina la adhesividad de algunas especies madereras cuyo cultivo está difundido en nuestro país.

## **2. OBJETIVOS**

Debido a la importancia de las uniones encoladas durante el uso de los productos elaborados, para la realización de este trabajo se han planteado los siguientes objetivos:

- **Estudiar la adhesividad de la madera uruguaya.**
- **Determinar cómo la interacción entre especies madereras, densidad de la madera y adhesivos, se vinculan con la calidad de la adherencia.**

## **3. GENERALIDADES**

La utilización de adhesivos, implica tener en cuenta al realizar el encolado la influencia que tienen en la resistencia de las uniones un conjunto de factores que influyen decisivamente en el resultado final. Entre ellos debemos citar:

- El adhesivo debe ser adecuado a las condiciones ambientales en que se va a utilizar el producto elaborado, fundamentalmente en lo que tiene que ver con la temperatura, la humedad relativa y la capacidad de mantener el poder adhesivo, incluso cuando las piezas encoladas estén inmersas en agua durante períodos más o menos prolongados.
- La temperatura ambiente y la humedad relativa del local donde se realice el encolado deben mantenerse dentro de ciertos límites. Temperaturas bajas pueden aumentar la viscosidad del adhesivo dificultando la penetración del mismo en la madera. Debido a ello, no es conveniente realizar el encolado a temperaturas menores de 20°C. Asimismo, a bajas temperaturas, se requiere mayor tiempo de prensado. El calentamiento de la madera con posterioridad a

la aplicación del adhesivo (por ejemplo durante el prensado) no aumenta la penetración del mismo en la madera sino que solamente puede influir en el tiempo de fraguado, de modo que en caso de que se aplique el adhesivo sobre la madera a baja temperatura se podrá obtener encolados débiles o defectuosos independientemente de la forma en que se realice el prensado de las piezas. A mayor temperatura ambiente, de la madera y del adhesivo, menor será el tiempo disponible para la aplicación del mismo y el montaje de las piezas.

- El adhesivo a utilizar debe ser adecuado para el tipo de madera a encolar, fundamentalmente en lo que tiene que ver con la densidad de la misma. Algunos adhesivos admiten su dilución con pequeñas proporciones de agua, alcohol etc. (ello puede ser útil cuando se trata de encolar maderas de alta densidad). En las Figuras 1 y 2 se muestra el efecto de la densidad de la madera en la resistencia de adhesión y en el porcentaje de falla en madera al aplicar tracción paralela a la unión encolada de dos tablillas.

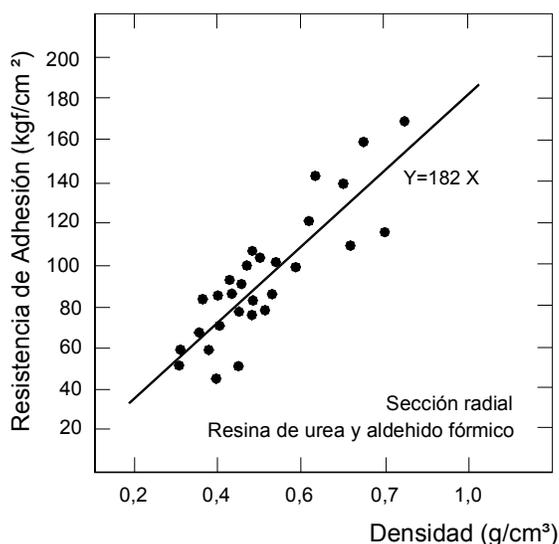


Figura 1: Relación entre: densidad de la madera y resistencia de adhesión.

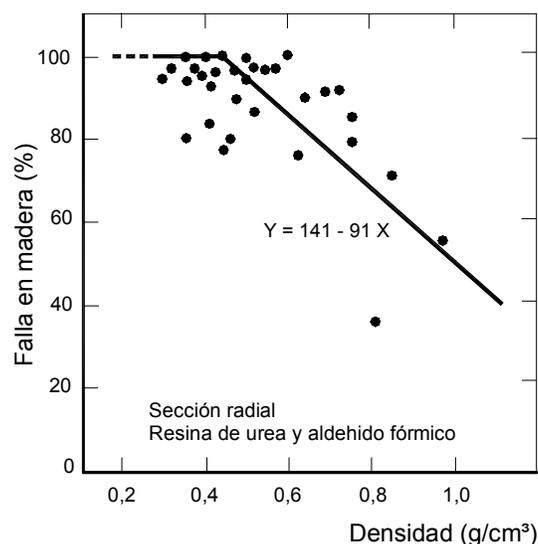


Figura 2: Relación entre: densidad de la madera y porcentaje de falla.

- El contenido de humedad (C.H.) de las piezas a encolar debe ser el adecuado en el momento en que se realiza el encolado Tanto para valores altos (C.H.>15%) como para valores bajos (C.H.<5%) se obtienen resistencias menores que las obtenidas para contenidos de humedad ubicados en el rango 5 a 15%; ello se debe fundamentalmente a que para contenidos de humedad bajos se produce una excesiva penetración del adhesivo en la madera, acortándose además el tiempo abierto de utilización del mismo, mientras que un contenido de humedad alto impide una correcta penetración del adhesivo debido a una saturación de humedad en los poros de la madera. Por tanto, sería aconsejable realizar el encolado cuando el contenido de humedad de la madera se encuentra

entre 8 y 12%. En la Figura 3 se muestran algunos ejemplos de cómo el contenido de humedad afecta la resistencia de la unión encolada.

- La inclinación de grano entre las superficies a encolar debe ser cercana a 0° dado que para inclinaciones de grano superiores a 10°, la resistencia de la unión encolada baja rápidamente; así por ejemplo en Japón se recomienda que la inclinación de grano de las piezas a encolar para la elaboración de madera laminada y encolada sea inferior a 1/16. Ver Figura 4.

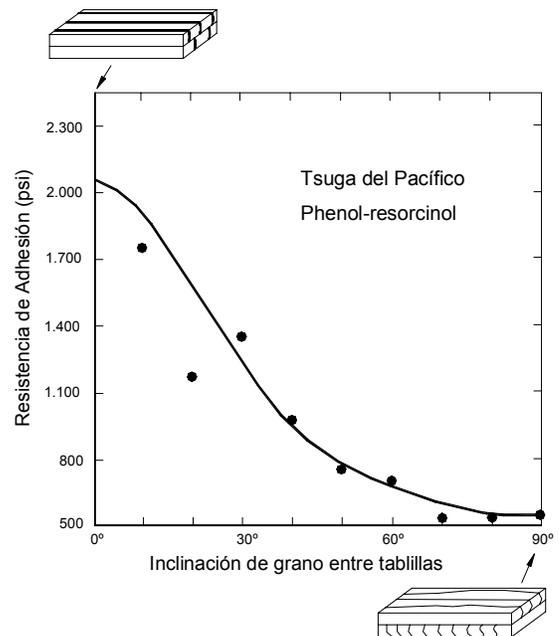
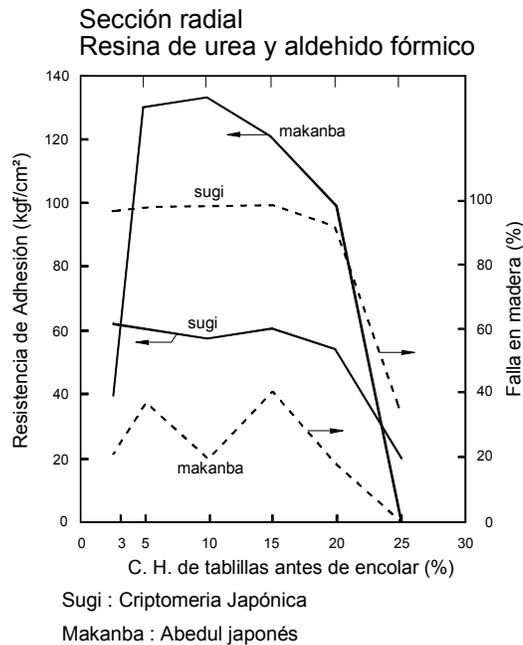


Figura 3: Efecto del contenido de humedad en la resistencia de adhesión.

Figura 4: Relación entre inclinación de grano y resistencia de adhesión.

- Las superficies a encolar deben: ser paralelas y haber sido cepilladas (pero no lijadas), como máximo 24 horas antes del encolado. Ello se debe a que los movimientos y deformaciones ocurren en menos de 48 horas después de la preparación de la madera, por lo tanto, lo ideal para obtener encolados con alta resistencia es que la madera se prepare muy poco tiempo antes de la aplicación del adhesivo. Procediendo de esta manera se evita además la acumulación de polvo que pudiera provenir de otros sectores de la fábrica.
- Ausencia de defectos ya sea debidos a la madera (nudos, grietas etc), como también al maquinado de la misma (rugosidad, cepillado contra el grano, quemaduras, variaciones en el espesor, etc).
- Se deben respetar los tiempos indicados por el fabricante del adhesivo para el almacenaje del mismo previo al uso, durante la aplicación, montaje y prensado de las piezas (mientras se produce el fraguado) y durante el curado, antes de someter a esfuerzo a las uniones encoladas.
- La carga de adhesivo debe estar de acuerdo a las recomendaciones del fabricante y debe ser uniforme en toda la superficie a encolar.

- La presión aplicada durante el fraguado del adhesivo debe ser uniforme y constante en toda la superficie a encolar.
- Prensado en caliente: algunos adhesivos admiten el aumento de temperatura para acortar el tiempo de fraguado que puede reducirse considerablemente. Sin embargo, el tiempo de utilización del adhesivo depende fundamentalmente de la temperatura ambiente, del adhesivo y de la madera, el que disminuye considerablemente para variaciones de temperatura de 20 a 35°C.
- Hay dos aspectos más que importan al momento de la elección del adhesivo a utilizar: 1) contenido no volátil que es el que en definitiva mantendrá las uniones encoladas, 2) Durabilidad del adhesivo o sea, variación de la resistencia del mismo a través del tiempo (este hecho asume mayor importancia cuanto más severas sean las condiciones de servicio a que serán sometidos los elementos encolados) En la Figura 5 se puede observar el efecto del envejecimiento del adhesivo en la resistencia de las uniones encoladas.

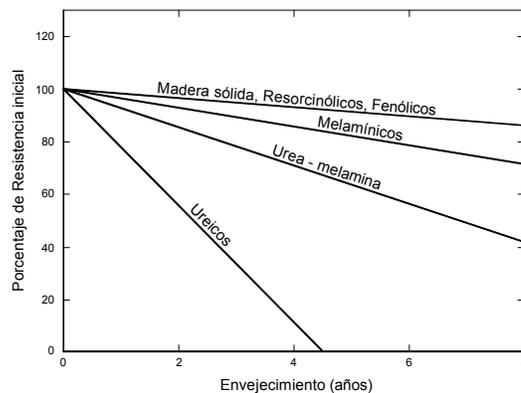


Figura 5: Deterioro de la resistencia de pequeñas probetas expuestas a la intemperie.

La durabilidad del adhesivo depende también de la aptitud del mismo para desempeñarse en diferentes condiciones de servicio. A título ilustrativo se indica la durabilidad de algunos adhesivos de uso frecuente.

Condición		Adhesivo						
		Fenólico	Resorcinólico	Melamínico	Ureico	PVA	Caseína	Isocianato
I N T E R I O R	General	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀
	Seco-Húmedo (90-95%HR) cíclico	☀	☀	☀	○	○	⊗	☀
	Alta temperatura	☀	☀	○	⊗	⊗	○	☀
E X T E R I O R	Expuesto a la intemperie	☀	☀	○	⊗	⊗	⊗	☀
	Intemperie bajo techo	☀	☀	☀	○	○	○	☀
	Dentro del agua ocasionalmente	☀	☀	☀	○	⊗	⊗	☀

☀ Alta durabilidad      ○ Buena durabilidad      ⊗ Baja durabilidad

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. MADERA

Se utilizaron las siguientes especies:

- *Eucalyptus tereticornis*
- *Eucalyptus globulus ssp globulus*
- *Eucalyptus grandis* procedente de Río Negro
- *Pinus elliottii* procedente de Río Negro
- *Pinus taeda* procedente de Río Negro.

### 4.2. ADHESIVOS

Los adhesivos utilizados fueron:

Adhesivo	Contenido no volátil (%)	Relación de mezcla (parcial)
Emulsión de Polivinil acetato (PVA)	44	----
Polímero hidrosoluble Isocianato (IC)	61 (*)	100 15
Resina resorcinólica Endurecedor (R)	54 (*)	5 1

Nota:

(\*) tiempo máximo de utilización después de mezclados los componentes (a 20°C):

IC : 20 minutos ; R : 60 minutos.

### 4.3. MÉTODOS

Para cada especie se elaboraron tablillas de 5 mm de espesor a partir de madera seca a 12%, libres de defectos ya sea debidos a la madera tanto como a la maquinaria utilizada durante su procesamiento. De acuerdo a cada especie se elaboraron los siguientes tipos de tablillas: a) de corte radial para todas las especies consideradas; b) de corte tangencial solamente para *Pinus elliottii* y *P.taeda*, utilizándose exclusivamente aquéllas que presentaran en por lo menos una de sus caras 100% de leño temprano o 100% de leño tardío (Ver Figura 6).

Estas tablillas fueron dispuestas en "castillos" para su acondicionamiento en cámara climatizada. Luego del acondicionamiento, a cada una de ellas se les determinó la densidad y de acuerdo a la misma y al tipo de corte, se formaron ocho grupos de similar rango de densidad. Las tablillas de corte tangencial a su vez fueron separadas según la cara a encolar fuera de leño temprano o de leño tardío. A partir de estas tablillas se elaboraron las probetas que serían utilizadas durante los ensayos.

Las probetas fueron elaboradas encolando pares de tablillas de similar densidad que luego se acondicionaron y lijaron en sus cantos para finalmente practicarles una ranura a cada una de las tablillas encoladas hasta llegar al adhesivo, de forma de obtener en la zona central un área de 13 x 20 mm.

Con las probetas así elaboradas se formaron dos grupos: uno para ensayo en seco (S) y el otro para ensayo en húmedo (H) luego de un tratamiento húmedo-seco-húmedo (excepto para PVA). Paralelamente, se elaboraron probetas de madera sólida (corte radial), para ensayar la resistencia al esfuerzo cortante de todas las especies.

Todas las probetas fueron ensayadas aplicando esfuerzo de tracción paralela a las superficies encoladas en la dirección del eje longitudinal de las mismas.

#### 4.4. PROCEDIMIENTOS

##### 4.4.1. TABLILLAS PARA ELABORAR PROBETAS

Todas las tablillas fueron elaboradas con las siguientes dimensiones:

100 mm x 20 mm x 5 mm,

siendo el largo, paralelo a la dirección de grano.

##### 4.4.1.1. TIPOS DE TABLILLAS:

E significa tablilla de corte tangencial con utilización de la cara de leño temprano para el encolado.

L significa tablilla de corte tangencial con utilización de la cara de leño tardío para el encolado.

R significa tablilla de corte radial.

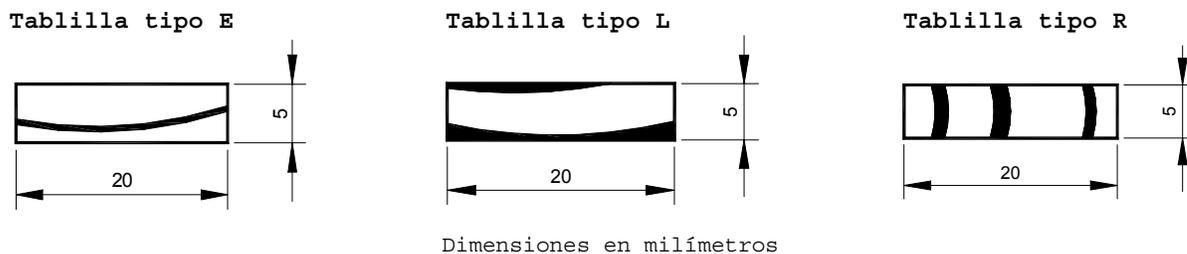


Figura 6: Sección transversal de tablillas para la elaboración de probetas

##### 4.4.1.2. ACONDICIONAMIENTO DE TABLILLAS

Una vez elaboradas, las tablillas se acondicionaron en una cámara climatizada **Nihon Freezer** a 20°C y 65% de H. Relativa hasta que alcanzaron el equilibrio.

##### 4.4.1.3. CONTENIDO DE HUMEDAD DE TABLILLAS

Una vez alcanzado el equilibrio, se determinó el contenido de humedad de 10 tablillas testigo por especie.

El contenido de humedad se determinó por el método de secado en estufa, utilizándose para ello una estufa **Yamato DK600** con circulación forzada en el rango de temperatura entre 101 y 105°C. y una balanza **Mettler Toledo PG503-S** de 0,001g de precisión.

Los promedios obtenidos estuvieron en todos los casos entre el 10,5 y 11,5%



Figura 7: Disposición de tablillas de *Pinus elliottii* y taeda para acondicionar

#### 4.4.1.4. DENSIDAD DE TABLILLAS

Una vez que las tablillas alcanzaron el equilibrio en la cámara de acondicionamiento, se determinó la densidad de cada una.

El largo y ancho de las tablillas se midieron con calibre digital **Mitutoyo** de 0,01mm de precisión. El espesor se midió con micrómetro digital **Mitutoyo** de 0,001mm de precisión. La masa de las tablillas se determinó en una balanza **Mettler Toledo PG503-S** con 0,001g de precisión.

Una vez que se obtuvo la densidad de cada tablilla para cada uno de los tipos anteriormente indicados, se formaron 8 grupos para cada especie con tablillas de densidad creciente en cada grupo y entre grupos.

#### 4.4.2. ENCOLADO DE TABLILLAS

Las probetas se elaboraron encolando tablillas de similar densidad con una carga

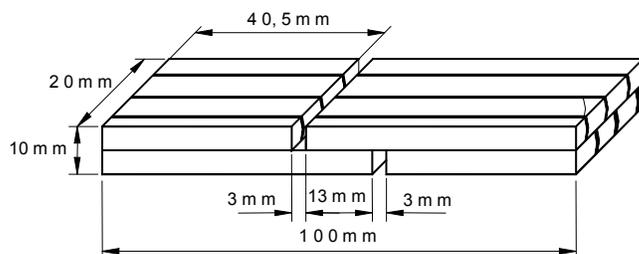


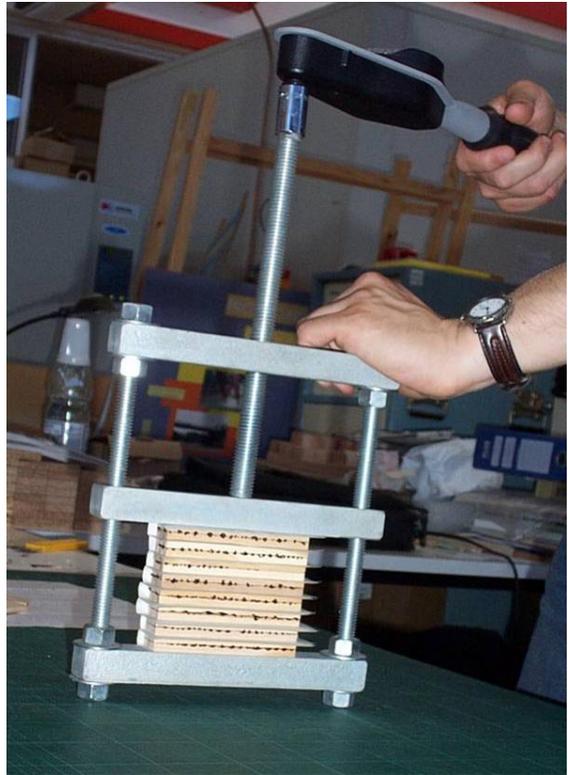
Figura 8: Geometría de probetas encoladas.

de adhesivo de 200 g/m<sup>2</sup> a las que luego se le practicaron las ranuras de 3 mm que se muestran en la Figura 8. El prensado y fraguado del adhesivo se realizó en las prensas que se muestran en la Figura 9, aplicándose una presión de entre 10 y 12 kgf/cm<sup>2</sup>. La presión se midió con Torquímetro de 1N·m de precisión.

Se prensaron conjuntos de 8 pares de tablillas, habiéndose utilizado un tiempo máximo total para la aplicación del adhesivo y el montaje de cada conjunto de tablillas menor que 20 minutos.

El fraguado se realizó con las piezas sujetas en las prensas durante 24hs, a temperatura y humedad ambientes.

Figura 9: Prensas utilizadas durante el prensado y fraguado de tablillas y utilización del torquímetro.



#### **Para *Pinus elliottii* y *P.taeda***

Se encolaron 8 pares de tablillas de cada uno de los siguientes tipos, utilizando **PVA**, **IC** y **R** para ensayo en seco :

E - E, E - L, L - L y R - R

y 8 pares de tablillas de los mismos tipos utilizando **IC** y **R** para ensayo en húmedo luego de un tratamiento de envejecimiento (**H**).

El **PVA** es un adhesivo formulado para el encolado de maderas a utilizar en interiores y en lugares en que el contenido de humedad de las piezas encoladas no supere el 15% (Clase de durabilidad D1 según la norma europea **EN 204**) y no es resistente al aumento del contenido de humedad de la madera, en condiciones de servicio y menos aún al tratamiento (**H**). De acuerdo a la misma norma indicada, solamente está contemplada la realización de ensayos en condición seca cuando se utilizan adhesivos de durabilidad D1.

#### **Para *Eucalyptus globulus*, *E.grandis* y *E.tereticornis***

Se elaboraron 8 pares de tablillas del tipo R - R, utilizando **PVA**, **IC** y **R** para ensayo en seco y 8 pares de tablillas del mismo tipo utilizando **IC** y **R** para ensayo en húmedo luego de un tratamiento de envejecimiento (**H**).

Debido a que los anillos de crecimiento no están diferenciados en las latifoliadas estudiadas, solamente se prepararon a partir de ellas tablillas tipo R(corte radial).

Cada par de tablillas fue tomado de cada uno de los 8 grupos de cada especie y

tipo a que correspondían las mismas. No se encolaron tablillas de especies diferentes. Por la misma razón explicada en el caso de *P. elliottii* y *P. taeda*, no se prepararon probetas con PVA para el ensayo en condición húmeda.

#### **4.4.3. ACONDICIONAMIENTO DE TABLILLAS ENCOLADAS**

Las tablillas encoladas fueron acondicionadas en una cámara **Nihon Freezer** a 20°C/65%HR hasta peso constante.

Posteriormente al acondicionamiento se les practicaron las ranuras de 3 mm que se muestran en la Figura 8 finalizando de esa forma la elaboración de las probetas.

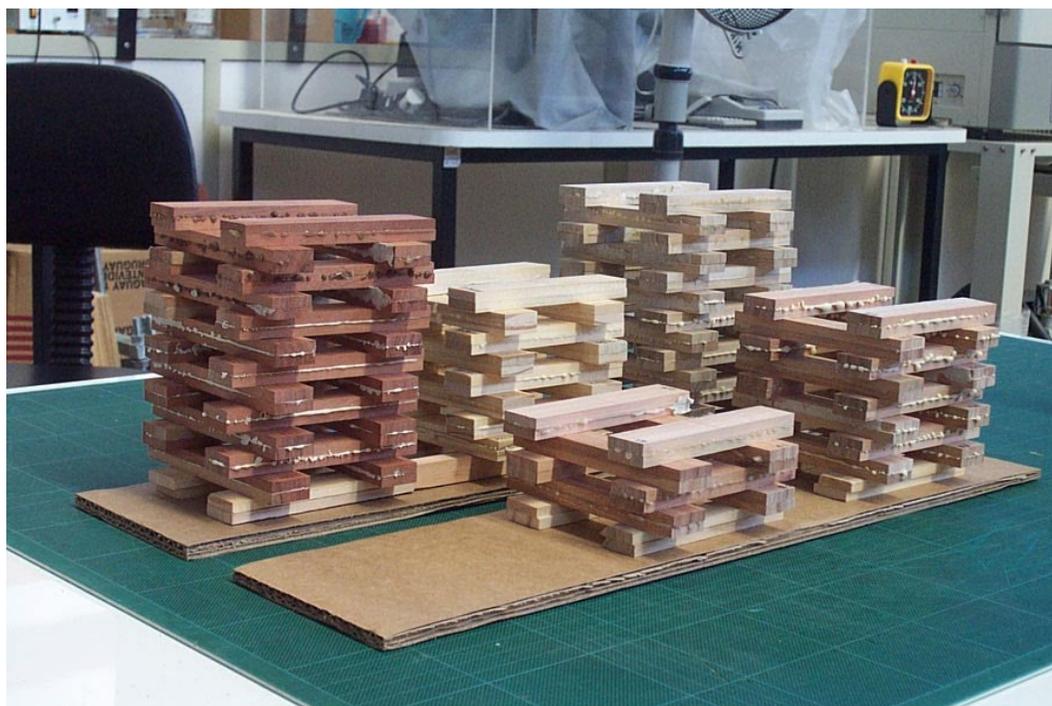


Figura 10: Aspecto general de tablillas encoladas

#### **4.4.4. TRATAMIENTO HÚMEDO-SECO-HÚMEDO (H)**

Las probetas a ensayar en húmedo (H), fueron sometidas a un tratamiento Húmedo-Seco-Húmedo consistente en:

**Baño en agua hirviendo durante 4 horas**

**Secado a 60°C durante 20 horas**

**Baño en agua hirviendo durante 4 horas**

luego del cual se sumergieron en agua fría hasta el momento del ensayo (una hora).

Este tratamiento se realizó utilizando:

Baño termostatzado **THOMAS T104C**.

Estufa con ventilación forzada **Yamato DK600**.

#### 4.5. PROBETAS DE MADERA SÓLIDA

Con el objeto de comparar la resistencia de la unión encolada con la resistencia al esfuerzo cortante de probetas de madera sólida, se elaboraron 10 probetas de madera sólida de corte radial para cada una de las especies. La geometría de las mismas fue similar a la utilizada para probetas elaboradas a partir de tablillas encoladas y se muestra en la Figura 11. Se calculó la densidad de cada una luego

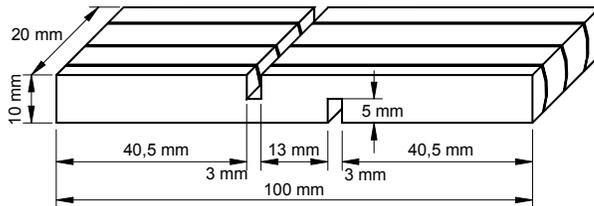


Figura 11: Geometría de probetas de madera sólida

que fueran acondicionadas en cámara climatizada **ADVANTEC AG-327**, a 20°C/65%HR para luego practicarles las ranuras de 3mm que se muestran en la Figura 11. Estas probetas se elaboraron únicamente para el ensayo en seco.

#### 4.6. ENSAYO

El ensayo permitió: a) determinar la resistencia al cortante originado por aplicación de tracción en el plano de la unión encolada de tablillas, según la dirección del eje longitudinal de las probetas. b) determinar el porcentaje de Falla en madera de cada probeta.

La determinación de la resistencia de las uniones encoladas al esfuerzo cortante, se puede realizar aplicando tracción o compresión a las probetas.

Sin embargo, las dimensiones de éstas en el caso de aplicar tracción a las uniones encoladas permiten determinar con mucho mayor precisión la relación entre densidad de la madera y calidad de la adherencia (que es uno de los objetivos de este trabajo) que las que se deben preparar para el caso de aplicar compresión, ya que al tener las probetas apenas 5 mm de espesor, se puede lograr, en el caso de cortes tangenciales, probetas con casi 100% de leño temprano (o tardío). De ahí que se haya elegido éste método de ensayo. Ello no exime de la necesidad de realizar a posteriori ensayos para obtener la resistencia al cortante debido a compresión; por el contrario, éste deberá realizarse intentando correlacionar los resultados obtenidos con los que se informan en esta oportunidad.

El ensayo se realizó en una máquina universal de ensayos **Minebea NMB TG-50kN Technograph Type THB-M03** de 50 kN de capacidad, ubicada dentro de una cámara climatizada **OKUNO** a 20°C / 65%HR. Se aplicó tracción paralela a las uniones encoladas (a la dirección de grano en probetas de madera sólida), con velocidad de aplicación de carga de 5 mm/minuto en todos los casos. Ver Figura 12.

Se registraron:

**Dimensiones del área de ensayo** de las probetas, medidas con calibre digital **Mitutoyo** de 0,01 mm de precisión,

Carga máxima aplicada medida en Newton y

Porcentaje de Falla en madera (FM) en el caso de probetas elaboradas a partir de tablillas encoladas. Ver Figura 13.

Se calculó la Resistencia de la unión encolada como el esfuerzo unitario máximo (E.U), empleando la siguiente fórmula:

$$\text{E.U (MPa)} = \text{Carga máxima aplicada (N)} / \text{Área de ensayo (mm}^2\text{)}.$$

#### 4.6.1. CONTENIDO DE HUMEDAD DE PROBETAS ENSAYADAS

Inmediatamente a la realización del ensayo de cada probeta se determinó su masa para luego de secarla determinar su contenido de humedad durante el mismo.

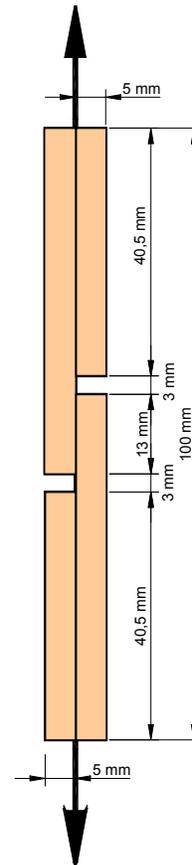


Figura 12: Ensayo de probetas y esquema del ensayo.



EB4: FM = 80% Probeta de *P. elliottii*, leño temprano-leño temprano, adhesivo R, ensayada luego de tratamiento H.

EB7: FM = 50% Igual que la anterior.

LB4: FM = 30% Probeta de *P. elliottii*, leño tardío-leño tardío, adhesivo R, ensayada luego de tratamiento H.

Figura 13: Falla en madera (FM) y falla en adhesivo.

## 5. RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada especie, adhesivo, tipo de probetas y condición de las mismas durante el ensayo.

### 5.1. PROBETAS DE MADERA SÓLIDA TIPO RADIAL: ESFUERZO CORTANTE (ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA)

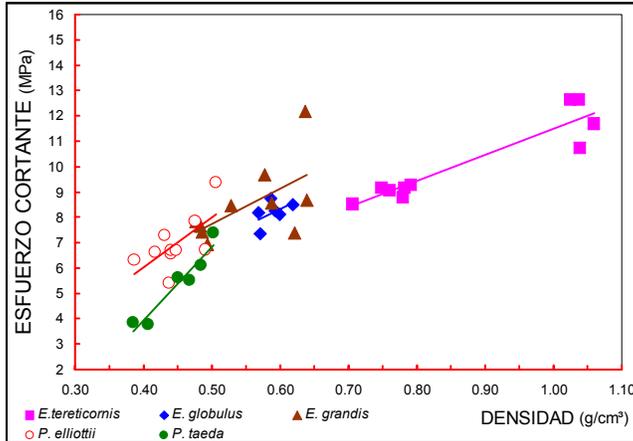


Figura 14

$$\text{Eucalyptus tereticornis: } Y = 10,35X + 1,13 \\ r = +0,93 ; \quad n = 10$$

$$\text{Eucalyptus globulus: } Y = 12,86X + 0,60 \\ r = +0,52 ; \quad n = 6$$

$$\text{Eucalyptus grandis : } Y = 13,80X + 0,85 \\ r = +0,60 ; \quad n = 10$$

$$\text{Pinus elliotii : } Y = 19,76X - 1,90 \\ r = +0,66 ; \quad n = 10$$

$$\text{Pinus taeda : } Y = 29,22X - 7,77 \\ r = +0,96 ; \quad n = 6$$

### 5.2. PROBETAS ENCOLADAS TIPO RADIAL-RADIAL:RESISTENCIA DE ADHESIÓN

#### a) *Eucalyptus tereticornis* (ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA Y HÚMEDA)

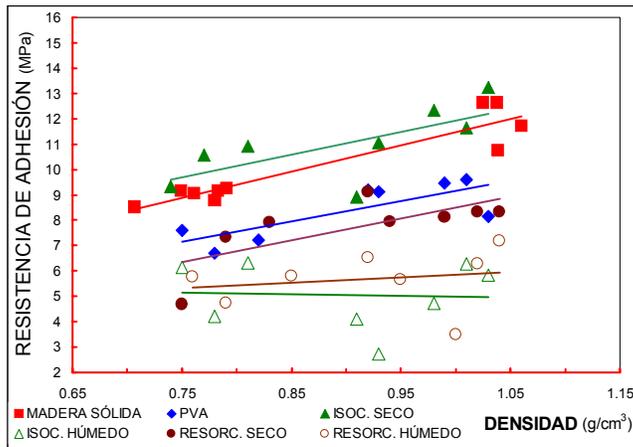


Figura 15

$$\text{MADERA SÓLIDA: } Y = 10,35X + 1,13 \\ r = +0,93 ; \quad n = 10$$

$$\text{PVA: } Y = 7,99X + 1,16 \\ r = +0,78 ; \quad n = 8$$

$$\text{ISOC. SECO: } Y = +8,98X + 2,95 \\ r = +0,69 ; \quad n = 8$$

$$\text{ISOC. HÚMEDO: } Y = -0,57X + 5,57 \\ r = -0,05 ; \quad n = 8$$

$$\text{RESORC SECO: } Y = 8,62X - 0,12 \\ r = 0,71 ; \quad n = 8$$

$$\text{RESORC. HÚMEDO: } Y = 2,11X + 3,75 \\ r = 0,20 ; \quad n = 8$$

#### b) *Eucalyptus globulus* (ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA Y HÚMEDA)

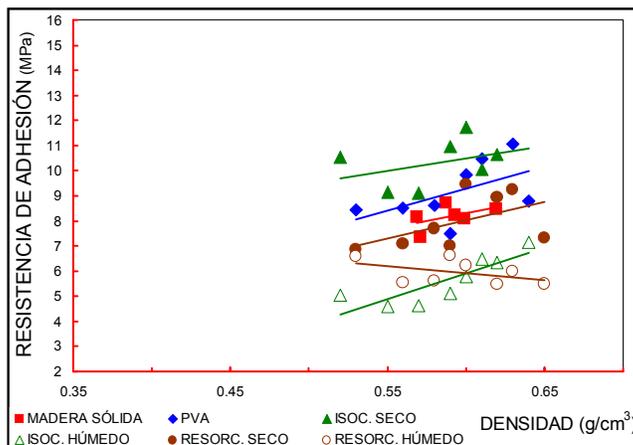


Figura 16

$$\text{MADERA SÓLIDA: } Y = 12,86X + 0,60 \\ r = 0,52 \quad n = 6$$

$$\text{PVA: } Y = 17,41X - 1,16 \\ r = 0,53 ; \quad n = 8$$

$$\text{ISOC. SECO: } Y = 9,91X - 4,56 \\ r = 0,37 ; \quad n = 7$$

$$\text{ISOC. HÚMEDO: } Y = 20,52X - 6,41 \\ r = 0,85 ; \quad n = 8$$

$$\text{RESORC. SECO: } Y = 14,42X - 0,63 \\ r = 0,52 ; \quad n = 8$$

$$\text{RESORC. HÚMEDO: } Y = -5,55X + 9,25 \\ r = -0,45 ; \quad n = 8$$

c) *Eucalyptus grandis* (ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA Y HÚMEDA) (Figura 17)

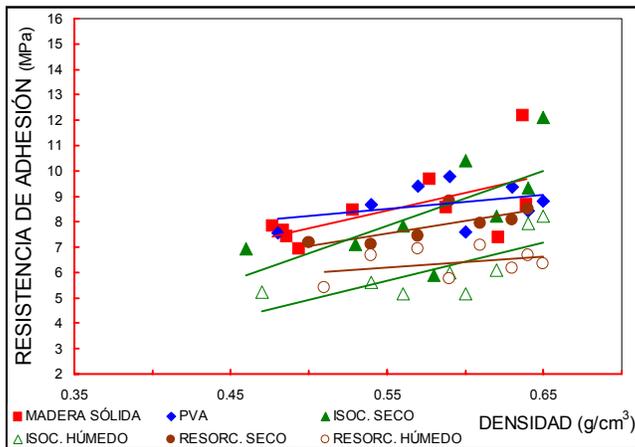


Figura 17

MADERA SÓLIDA:  $Y = 13,80X + 0,85$   
 $r = 0,60$  ;  $n = 10$

PVA:  $Y = 5,44X + 5,50$   
 $r = 0,38$  ;  $n = 8$

ISOC. SECO:  $Y = 21,59X - 4,04$   
 $r = 0,67$  ;  $n = 8$

ISOC. HÚMEDO:  $Y = 15,03X - 2,59$   
 $r = 0,72$  ;  $n = 8$

RESORC. SECO:  $Y = 9,81X + 2,14$   
 $r = 0,76$  ;  $n = 7$

RESORC. HÚMEDO:  $Y = 4,07X + 3,97$   
 $r = 0,35$  ;  $n = 8$

d) *Pinus elliottii* (ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA Y HÚMEDA)

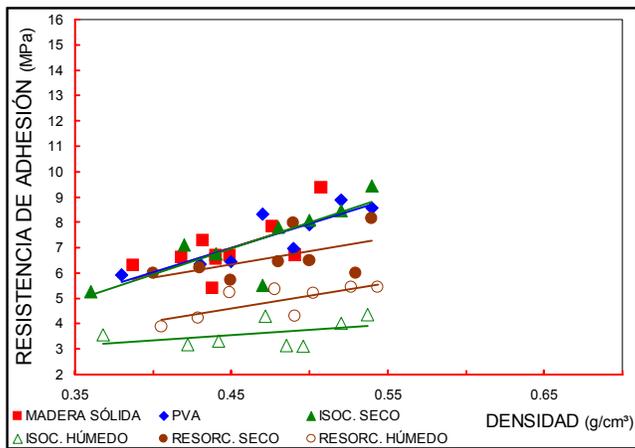


Figura 18

MADERA SÓLIDA:  $Y = 19,76X - 1,90$   
 $r = 0,66$  ;  $n = 10$

PVA:  $Y = 19,07X - 1,59$   
 $r = 0,86$  ;  $n = 8$

ISOC. SECO:  $Y = 20,40X - 2,21$   
 $r = 0,83$  ;  $n = 8$

ISOC. HÚMEDO:  $Y = 4,10X - 1,71$   
 $r = 0,43$  ;  $n = 8$

RESORC. SECO:  $Y = 10,39X - 1,66$   
 $r = 0,54$  ;  $n = 8$

RESORC. HÚMEDO:  $Y = 10,04X + 0,08$   
 $r = 0,75$  ;  $n = 8$

e) *Pinus taeda* (ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA Y HÚMEDA)

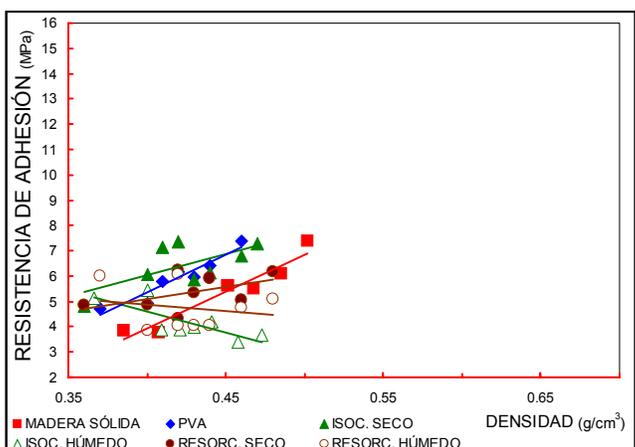


Figura 19

MADERA SÓLIDA:  $Y = 29,22X - 7,77$   
 $r = 0,96$  ;  $n = 6$

PVA:  $Y = 29,68X - 6,52$   
 $r = 0,95$  ;  $n = 7$

ISOC. SECO:  $Y = 16,57X - 0,59$   
 $r = 0,65$  ;  $n = 8$

ISOC. HÚMEDO:  $Y = -16,56X + 11,22$   
 $r = -0,78$  ;  $n = 8$

RESORC. SECO:  $Y = 9,68X + 1,22$   
 $r = 0,50$  ;  $n = 8$

RESORC. HÚMEDO:  $Y = -5,31X + 7,00$   
 $r = -0,20$  ;  $n = 8$

### 5.3 PROBETAS ENCOLADAS TIPO RADIAL - RADIAL: FALLA EN MADERA

La Falla en madera (FM) se expresa como porcentaje del área en la que se produjo rotura en la madera respecto al área total de ensayo de cada probeta.

#### a) Adhesivo: PVA

(ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA)

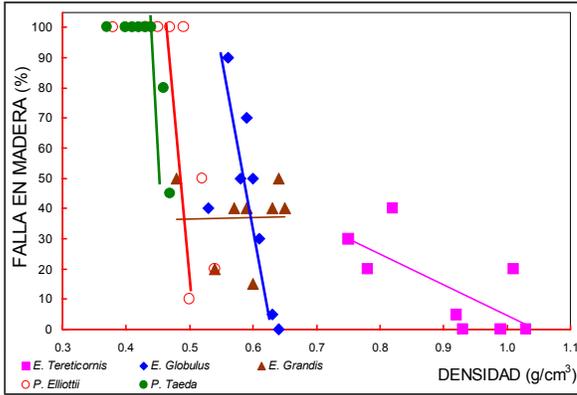
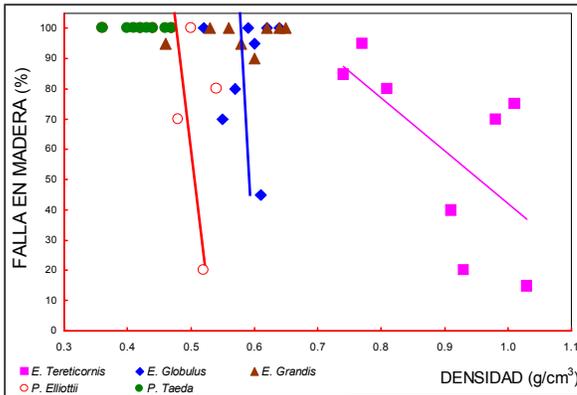


Figura 20

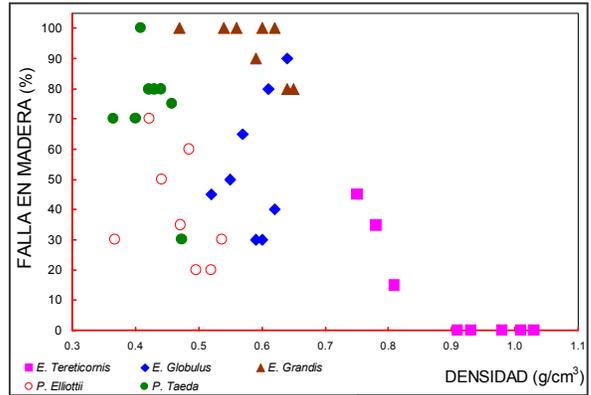
#### b) Adhesivo: IC (Figura 21)

(ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA)



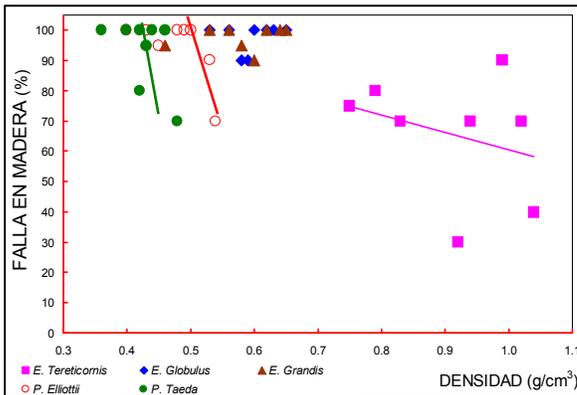
#### c) Adhesivo: IC (Figura 22)

(ENSAYOS EN CONDICIÓN HÚMEDA)



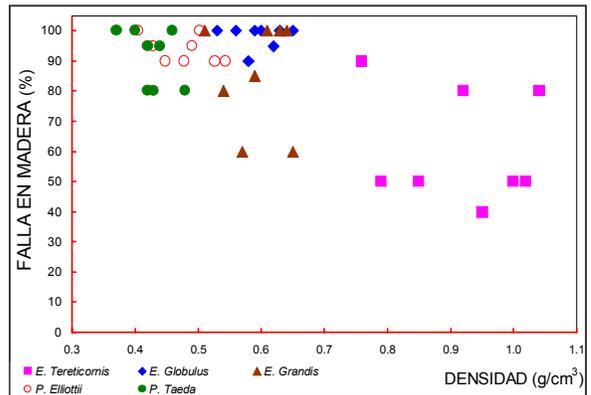
#### d) Adhesivo: R (Figura 23)

(ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA)



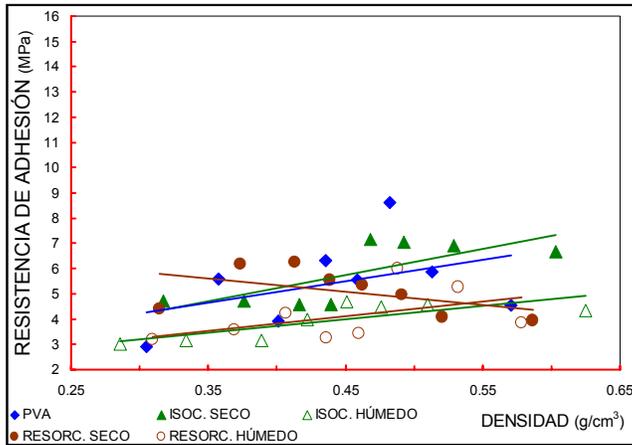
#### e) Adhesivo: R (Figura 24)

(ENSAYOS EN CONDICIÓN HÚMEDA)



**5.4. PROBETAS ENCOLADAS DE *Pinus elliottii*, TIPO E-E (LEÑO TEMPRANO - LEÑO TEMPRANO) Y L - L (LEÑO TARDÍO - LEÑO TARDÍO): RESISTENCIA DE ADHESIÓN (ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA Y HÚMEDA)**

**a) PROBETAS TIPO E - E (Figura 25)**



PVA:  $Y = 8,54X + 1,65$   
 $r = 0,43$  ;  $n = 8$

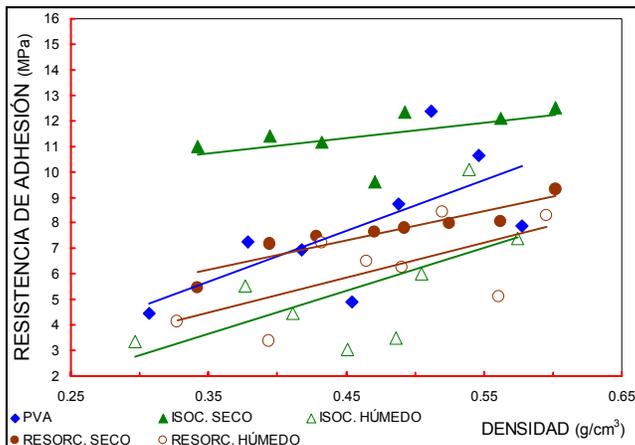
ISOC. SECO:  $Y = 10,26X + 1,12$   
 $r = 0,74$  ;  $n = 8$

ISOC. HÚMEDO:  $Y = 5,27X + 1,62$   
 $r = 0,79$  ;  $n = 8$

RESORC. SECO:  $Y = -5,14X + 7,40$   
 $r = -0,49$  ;  $n = 8$

RESORC. HÚMEDO:  $Y = 5,80X + 1,50$   
 $r = 0,49$  ;  $n = 8$

**b) PROBETAS TIPO L - L (Figura 26)**



PVA:  $Y = 19,89X - 1,25$   
 $r = 0,67$  ;  $n = 8$

ISOC. SECO:  $Y = 5,89X + 8,67$   
 $r = 0,54$  ;  $n = 7$

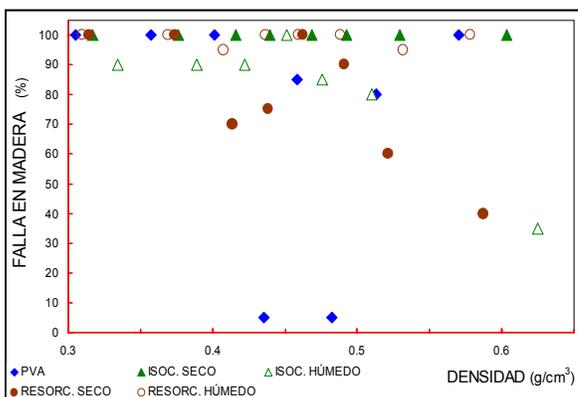
ISOC. HÚMEDO:  $Y = 16,70X - 2,19$   
 $r = 0,63$  ;  $n = 8$

RESORC. SECO:  $Y = 11,50X + 2,13$   
 $r = 0,92$  ;  $n = 8$

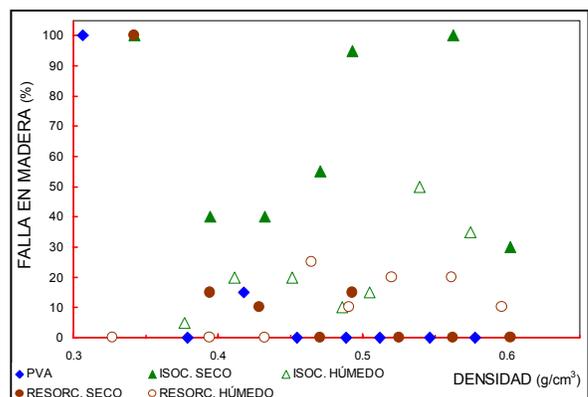
RESORC. HÚMEDO:  $Y = 13,68X - 0,30$   
 $r = 0,65$  ;  $n = 8$

**5.5. PROBETAS ENCOLADAS DE *Pinus elliottii* TIPO E - E (LEÑO TEMPRANO - LEÑO TEMPRANO) Y L - L (LEÑO TARDÍO - LEÑO TARDÍO): FALLA EN MADERA (ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA Y HÚMEDA)**

**a) PROBETAS TIPO E - E (Figura 27)**

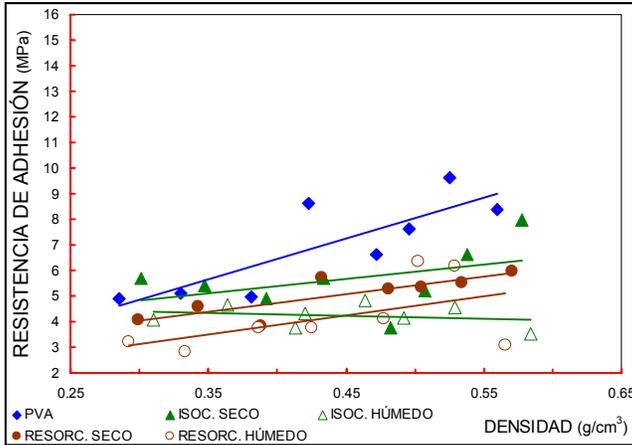


**b) PROBETAS TIPO L - L (Figura 28)**



**5.6 PROBETAS ENCOLADAS DE *Pinus taeda* TIPO E - E (LEÑO TEMPRANO - LEÑO TEMPRANO) Y L - L (LEÑO TARDÍO - LEÑO TARDÍO): RESISTENCIA DE ADHESIÓN (ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA Y HÚMEDA)**

**a) PROBETAS TIPO E - E (Figura 29)**



PVA:  $Y = 15,92X + 0,07$   
 $r = 0,83$  ;  $n = 8$

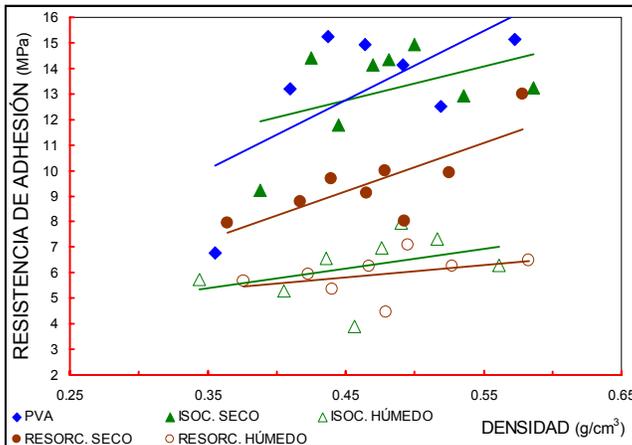
ISOC. SECO:  $Y = 5,53X + 3,18$   
 $r = 0,43$  ;  $n = 8$

ISOC. HÚMEDO:  $Y = -1,17X + 4,75$   
 $r = -0,23$  ;  $n = 8$

RESORC. SECO:  $Y = 6,86X + 2,00$   
 $r = 0,83$  ;  $n = 8$

RESORC. HÚMEDO:  $Y = 7,41X + 0,90$   
 $r = 0,53$  ;  $n = 8$

**b) PROBETAS TIPO L - L (Figura 30)**



PVA:  $Y = 27,05X + 0,57$   
 $r = 0,65$  ;  $n = 7$

ISOC. SECO:  $Y = 13,20X + 6,81$   
 $r = 0,44$  ;  $n = 8$

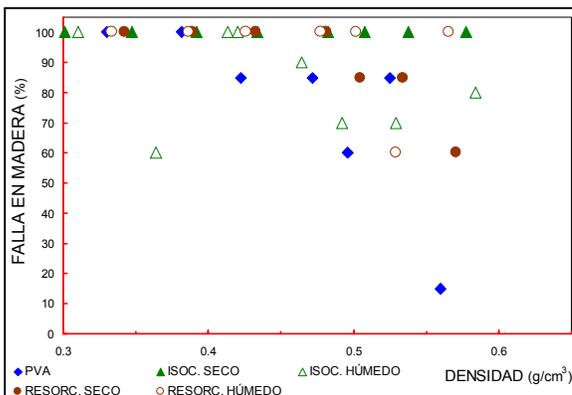
ISOC. HÚMEDO:  $Y = 7,72X + 2,70$   
 $r = 0,40$  ;  $n = 8$

RESORC. SECO:  $Y = 18,88X + 0,68$   
 $r = 0,78$  ;  $n = 8$

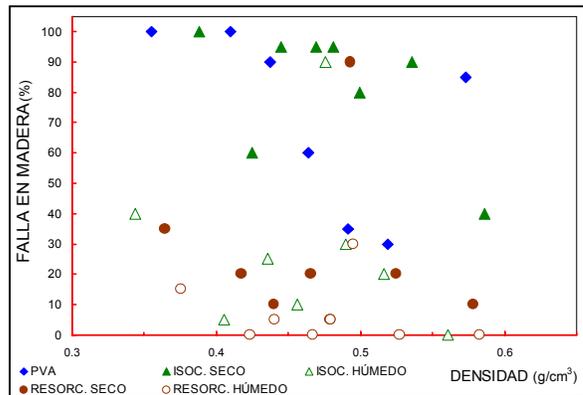
RESORC. HÚMEDO:  $Y = 4,79X + 3,66$   
 $r = 0,38$  ;  $n = 8$

**5.7. PROBETAS ENCOLADAS DE *Pinus taeda* TIPO E - E (LEÑO TEMPRANO - LEÑO TEMPRANO) Y L - L (LEÑO TARDÍO - LEÑO TARDÍO): FALLA EN MADERA (ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA Y HÚMEDA)**

**a) PROBETAS TIPO E - E (Figura 31)**



**b) PROBETAS TIPO L - L (Figura 32)**



**5.8. PROBETAS ENCOLADAS DE *Pinus elliottii* TIPO E - L (LEÑO TEMPRANO - LEÑO TARDÍO): RESISTENCIA DE ADHESIÓN (ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA Y HÚMEDA)**

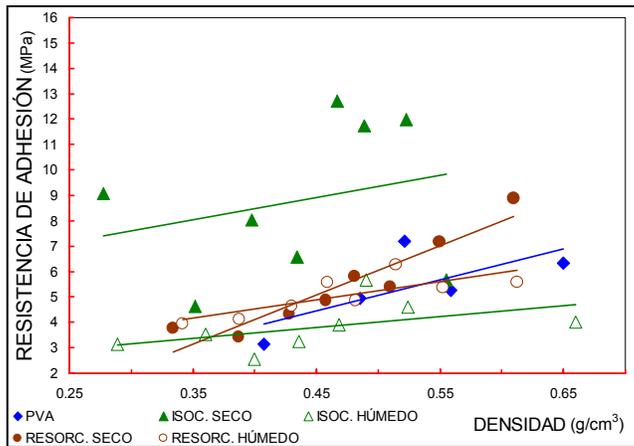


Figura 33

PVA:  $Y = 1,02X + 5,45$   
 $r = 0,07$  ;  $n = 8$

ISOC. SECO:  $Y = 8,81X + 4,95$   
 $r = 0,26$  ;  $n = 8$

ISOC. HÚMEDO:  $Y = 4,30X + 1,88$   
 $r = 0,50$  ;  $n = 8$

RESORC. SECO:  $Y = 19,42X - 3,67$   
 $r = 0,94$  ;  $n = 8$

RESORC. HÚMEDO:  $Y = 7,10X + 1,69$   
 $r = 0,78$  ;  $n = 8$

**5.9. PROBETAS ENCOLADAS DE *Pinus elliottii* TIPO E - L (LEÑO TEMPRANO - LEÑO TARDÍO): FALLA EN MADERA (ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA Y HÚMEDA)**

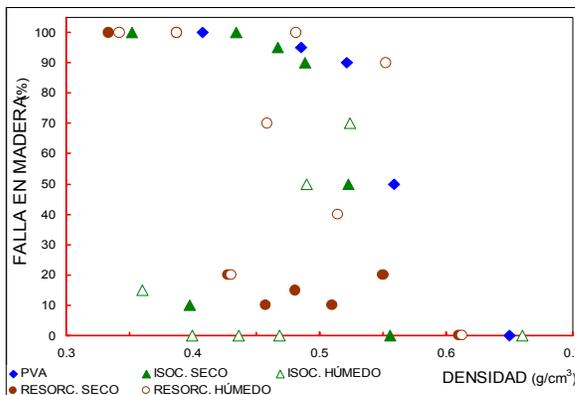


Figura 34

**5.10. PROBETAS ENCOLADAS DE *Pinus taeda* TIPO E - L (LEÑO TEMPRANO - LEÑO TARDÍO): RESISTENCIA DE ADHESIÓN (ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA Y HÚMEDA)**

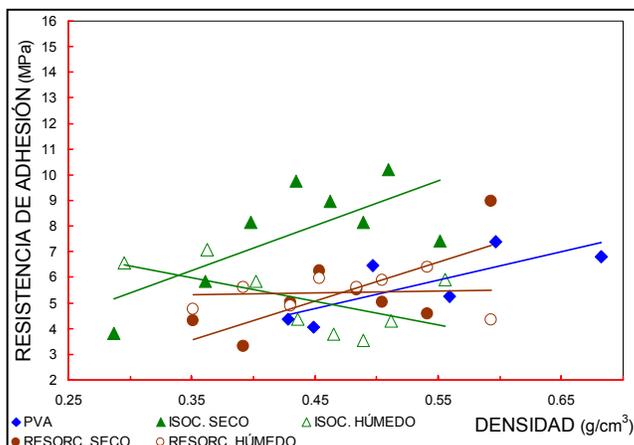


Figura 35

PVA:  $Y = 3,31X + 4,47$   
 $r = 0,23$  ;  $n = 8$

ISOC. SECO:  $Y = 17,52X + 0,14$   
 $r = 0,71$  ;  $n = 8$

ISOC. HÚMEDO:  $Y = -9,23X + 9,23$   
 $r = -0,58$  ;  $n = 8$

RESORC. SECO:  $Y = 15,20X - 1,76$   
 $r = 0,71$  ;  $n = 8$

RESORC. HÚMEDO:  $Y = 0,71X + 5,10$   
 $r = 0,08$  ;  $n = 8$

**5.11. PROBETAS ENCOLADAS DE *Pinus taeda* TIPO E - L (LEÑO TEMPRANO - LEÑO TARDÍO): FALLA EN MADERA (ENSAYOS EN CONDICIÓN SECA Y HÚMEDA)**

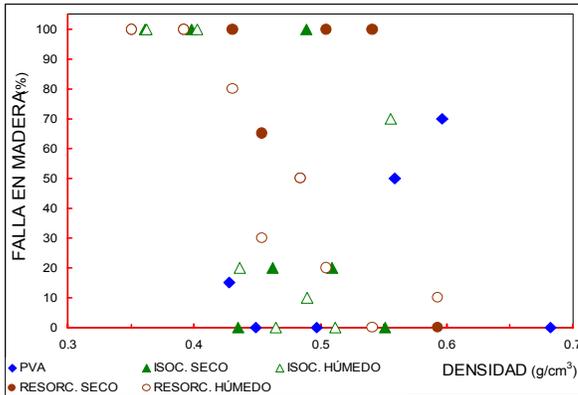


Figura 36

**6. DISCUSIÓN**

La discusión se hará tomando en cuenta los siguientes puntos:

Efecto de la densidad en la Fuerza de adhesión y en el porcentaje de Falla en madera mostrada en los gráficos del parágrafo 5.  
 Promedios obtenidos en los ensayos para los tres adhesivos utilizados.  
 Retención del Poder adhesivo para el caso de **ISOCIANATO** y **RESORCINOL**, entendiéndose como tal el porcentaje entre los promedios del esfuerzo unitario obtenido (para probetas de la misma especie y tipo) en las condiciones húmeda y seca respectivamente, o sea:

$$\text{Retención del Poder adhesivo (\%)} = 100 \cdot H/S$$

Donde: **H** = Promedio del esfuerzo unitario de ensayos realizados luego del tratamiento húmedo - seco - húmedo indicado en 4.4.4.

**S** = Promedio del esfuerzo unitario de ensayos realizados en seco.

**a) MADERA SÓLIDA (Tabla 1) PROMEDIOS DE DENSIDAD Y ESFUERZO CORTANTE**

ESPECIE	Densidad d(g/cm³)	Esfuerzo cortante E.U. (MPa)
<i>E. tereticornis</i>	0,87 ± 0,15	10,20 ± 1,6
<i>E. globulus</i>	0,59 ± 0,02	8,18 ± 0,5
<i>E. grandis</i>	0,55 ± 0,07	8,48 ± 1,5
<i>P. elliottii</i>	0,45 ± 0,04	6,94 ± 1,1
<i>P. taeda</i>	0,45 ± 0,05	5,37 ± 1,4

**b) PROBETAS ENCOLADAS TIPO RADIAL - RADIAL (Tabla 2) RESISTENCIA DE ADHESIÓN Y DENSIDAD**

ESPECIE		ADHESIVO / CONDICIÓN						
		PVA		IC			R	
		S	S	H	H/S (%)	S	H	H/S (%)
<i>E. tereticornis</i>	E.U.	8,4±1,1	11,0±1,4	5,1±1,3	46	7,7±1,3	5,7±1,1	74
	d	0,90±0,11	0,90±0,11	0,90±0,11	---	0,91±0,11	0,92±0,11	---
<i>E. globulus</i>	E.U.	9,2±1,2	10,3±1,0	5,6±0,9	54	7,9±1,1	5,9±0,5	75
	d	0,59±0,04	0,59±0,04	0,59±0,04	---	0,60±0,04	0,60±0,04	---
<i>E. grandis</i>	E.U.	8,7±0,8	8,5±2,0	6,2±1,2	73	d	6,4±0,6	81
	d	0,59±0,06	0,58±0,06	0,58±0,06	---	0,58±0,05	0,59±0,05	---

**c) PROBETAS ENCOLADAS DE *P. elliottii* TIPOS E - E (LEÑO TEMPRANO - LEÑO TEMPRANO), E - L (LEÑO TEMPRANO - LEÑO TARDÍO), L-L (LEÑO TARDÍO - LEÑO TARDÍO) y RADIAL - RADIAL : RESISTENCIA DE ADHESIÓN Y DENSIDAD (Tabla 3)**

ESPECIE		ADHESIVO / CONDICIÓN						
		PVA	IC			R		
		S	S	H	H/S (%)	S	H	H/S (%)
Tipo E - E	E.U.	5,4±1,7	5,8±1,2	3,9±0,7	67	5,1±0,9	4,1±1,0	80
	d	0,44±0,09	0,44±0,09	0,44±0,11	---	0,45±0,09	0,45±0,09	---
Tipo E - L	E.U.	5,4±1,5	8,8±3,1	3,8±1,0	43	5,5±1,8	5,0±0,8	91
	d	0,52±0,1	0,44±0,1	0,45±0,1	---	0,47±0,1	0,47±0,1	---
Tipo R - R	E.U.	7,4±1,1	7,3±1,4	3,6±0,05	49	6,6±0,9	4,9±0,6	74
	d	0,47±0,05	0,47±0,06	0,47±0,06	---	0,48±0,05	0,48±0,05	---
Tipo L - L	E.U.	7,9±2,7	11,4±1,0	5,4±2,4	47	7,6±1,1	6,2±1,8	82
	d	0,46±0,09	0,47±0,09	0,46±0,09	---	0,48±0,09	0,47±0,09	---
Madera sólida		E.U. = 6,94 ± 1,1 ; d = 0,45 ± 0,04						

**d) PROBETAS ENCOLADAS DE *P. taeda* TIPOS E - E (LEÑO TEMPRANO - LEÑO TEMPRANO), E - L (LEÑO TEMPRANO - LEÑO TARDÍO), L-L (LEÑO TARDÍO - LEÑO TARDÍO) y RADIAL - RADIAL : RESISTENCIA DE ADHESIÓN Y DENSIDAD (Tabla 4)**

ESPECIE		ADHESIVO / CONDICIÓN						
		PVA	IC			R		
		S	S	H	H/S (%)	S	H	H/S (%)
<i>P. taeda</i> Tipo E - E	E.U.	7,0±1,9	5,7±1,2	4,2±0,4	74	5,0±0,8	4,2±1,4	84
	d	0,43±0,1	0,45±0,1	0,45±0,09	---	0,44±0,1	0,44±0,1	---
<i>P. taeda</i> Tipo E - L	E.U.	5,7±1,4	7,8±2,1	5,2±1,3	67	5,4±1,7	5,4±0,7	100
	d	0,54±0,1	0,44±0,1	0,44±0,1	---	0,47±0,1	0,47±0,1	---
<i>P. taeda</i> Tipo R - R	E.U.	5,9±0,9	6,4±0,9	4,2±0,7	66	5,3±0,7	4,7±0,9	89
	d	0,42±0,03	0,42±0,04	0,42±0,03	---	0,43±0,04	0,43±0,03	---
<i>P. taeda</i> Tipo L - L	E.U.	13,1±3,0	13,1±1,9	6,3±1,3	48	9,6±1,6	5,9±0,8	61
	d	0,46±0,07	0,48±0,06	0,46±0,07	---	0,47±0,07	0,47±0,06	---
Madera sólida		E.U. = 5,37 ± 1,4 ; d = 0,45 ± 0,05						

## 1. Madera sólida

De acuerdo a lo que se aprecia en la Fig. 14 (pág. 12), se puede afirmar que para cada una de las especies estudiadas existe proporcionalidad entre Esfuerzo cortante y densidad, habiéndose obtenido coeficientes de correlación positivos para todas las especies siendo los más altos los de *P. taeda*, *E. tereticornis* y *P. elliotii*, por su orden.

De acuerdo a los valores indicados en la Tabla 1 (pág. 18) se puede afirmar que para latifoliadas se obtienen promedios de Esfuerzo cortante mayores que para coníferas.

Observando el promedio de Esfuerzo cortante correspondiente a *E. globulus* de la Tabla 1, la línea de tendencia correspondiente (Fig. 14) y las Fallas en madera, se puede concluir que la presencia de grano entrecruzado influye negativamente en el Esfuerzo cortante obteniéndose por lo tanto valores menores que lo que se podría esperar teniendo en cuenta su densidad.

Respecto a las coníferas, se puede apreciar (en la Figura 14 y en la Tabla 1) valores más altos de Esfuerzo cortante en *P. elliotii* que en *P. taeda*, a pesar que la diferencia en el promedio de densidad de las probetas ensayadas podría llevar a pensar que se obtendrían valores similares de esfuerzo cortante.

## 2. Probetas encoladas

*E. tereticornis* (Tablas 1 y 2): Para los tres adhesivos estudiados, en ensayos en condición seca, se obtuvieron líneas de tendencia similares (en cuanto a la pendiente), con coeficientes de correlación altos y positivos entre Resistencia de adhesión y densidad. Sin embargo es llamativo el promedio obtenido para PVA (Tabla 2) ya que con las otras especies de latifoliadas se obtuvieron valores comparables a los de probetas encoladas con IC siendo en este caso bastante menor. Este hecho puede tener explicación observando que tanto en *E. tereticornis* como en *E. grandis*, al encolarlos con PVA, se produce un cambio en la coloración del adhesivo, lo que podría indicar que probablemente exista una reacción entre éste y extractivos propios de dichas especies disminuyendo la Resistencia de adhesión del PVA. (Ver Fig. 10, en la que las 8 probetas superiores de la pila de la izquierda, corresponden a *E. tereticornis* encoladas con PVA). Esta afirmación se ve reforzada por el hecho de que los porcentajes de Falla en madera alcanzan un valor máximo de 40%. De todos modos, los valores más altos de Resistencia de adhesión se obtuvieron al encolar las tablillas de mayor densidad aunque en esos casos el porcentaje de Falla en madera fue muy bajo.

El promedio (ensayos en condición seca) de Resistencia de adhesión obtenido al encolar con IC es alto (11,0) (superior al promedio de Esfuerzo cortante obtenido con probetas de madera sólida); sin embargo y aunque el porcentaje de Falla en madera también es alto, al evaluar la Retención del poder adhesivo se obtiene un

porcentaje muy bajo (46%) por lo que se puede concluir que su utilización no es adecuada para esta especie cuando los elementos encolados se utilicen ya sea en condiciones de alta humedad y temperatura simultáneamente por períodos prolongados de tiempo o expuestos directamente a la intemperie, ni en elementos de uso estructural.

Para el caso de encolado con **R**, si bien el promedio de la Resistencia de adhesión no es alto, (podría ocurrir un problema similar al descrito para el caso de **PVA**, sin embargo el color del adhesivo impide una evaluación a simple vista), la Falla en madera sí es alta y la Retención del poder adhesivo presenta un alto porcentaje(74%), hechos estos que indican que el adhesivo es apropiado para encolar esta especie para elementos estructurales e incluso para el uso en intemperie o condiciones climáticas rigurosas con alta humedad relativa y alta temperatura simultáneamente durante períodos prolongados.

**E. globulus**(Tablas 1 y 2): Para los tres adhesivos, al ensayar probetas en condición seca se obtuvieron valores altos del promedio de Resistencia de adhesión (incluso mayores con **PVA** e **IC**) respecto a los de Esfuerzo cortante de madera sólida pero la correlación entre F. de adhesión y densidad si bien es positiva, no tiene un coeficiente de correlación (r) alto, probablemente debido en parte a la presencia de grano entrecruzado. Estudios posteriores podrían realizarse para evaluar con exactitud la influencia del grano entrecruzado en la Resistencia de adhesión de esta especie. En el caso de **IC** y **R**, el promedio de porcentaje de Falla en madera es alto (para probetas ensayadas en condición seca), pero al evaluar la Retención del poder adhesivo, obtenemos 54% para **IC** lo que indica que el adhesivo no es apto para el encolado de esta especie cuando los elementos encolados deban exponerse a alta humedad relativa y temperatura simultáneamente durante períodos prolongados o se expongan directamente a la intemperie ni para encolar elementos de uso estructural.

***E. grandis***(Tablas 1 y 2): Para los tres adhesivos, al ensayar probetas en condición seca se obtuvieron valores promedio altos para la Resistencia de adhesión (en comparación al promedio de Esfuerzo cortante obtenido con madera sólida), con coeficientes de correlación entre ésta y la densidad de 0,38(**PVA**), 0,67(**IC**) y 0,76(**R**) siendo bajos los porcentajes de Falla en madera en el caso de **PVA** (<50%) al igual que para ***E. tereticornis*** (Podría ocurrir un fenómeno similar al descrito en el caso de ***E. tereticornis*** al haberse constatado al encolar las tablillas, también en este caso, una coloración del PVA aunque no tan intensa). Tanto en el encolado con **IC** como con **R** los porcentajes de Falla en madera son altos (90% **IC** y 70% **R**) siendo el **R** el adhesivo que presenta mayor Retención del poder adhesivo(81%) y luego el **IC** (73%).

***P. elliottii***(Tablas 1 y 3): Para los tres adhesivos, al ensayar probetas de corte radial en condición seca, se obtuvieron valores promedio altos para la

Resistencia de adhesión (en comparación con los promedios de Esfuerzo cortante de madera sólida), con coeficientes de correlación entre ésta y la densidad positivos: 0,86(**PVA**), 0,83(**IC**) y 0,54(**R**). En el caso de **PVA**, los valores más altos de Resistencia de adhesión se obtuvieron encolando probetas de corte radial o tipo L - L. Los promedios de porcentaje de Falla en madera fueron altos para **PVA** (a excepción de probetas L - L), **IC** en todos los tipos de probetas y **R** (probetas R - R y E - E). En el caso de **IC**, la Retención del poder adhesivo fue baja en general, (excepto en el caso de probetas tipo E - E) por lo tanto sería inconveniente la utilización de **IC** en elementos estructurales y/o que se expongan directamente a la intemperie o a alta humedad relativa y temperatura simultáneamente, durante períodos prolongados. En el caso de **R**, si bien solamente para probetas de tipo R - R y L - L se obtuvieron valores de Resistencia de adhesión comparables a los del promedio del Esfuerzo cortante de madera sólida, y los porcentajes de Falla en madera fueron altos solamente en probetas de tipo R - R y E - E, la Retención del poder adhesivo fue alta en todos los casos lo que indica que el mismo es apto para su utilización con **P. elliottii** en elementos estructurales y en todo tipo de elementos que deban exponerse a la intemperie o alta humedad relativa y temperatura simultáneamente durante períodos prolongados.

**P. taeda** (Tablas 1 y 4): Para los tres adhesivos, al ensayar probetas de corte radial en condición seca, se obtuvieron valores promedio altos para la Resistencia de adhesión, similares (caso de **R**) o mayores (caso de **PVA** e **IC**) a los obtenidos para el promedio del Esfuerzo cortante de madera sólida, con coeficientes de correlación entre Resistencia de adhesión y densidad altos y positivos en el caso de **PVA** e **IC**, siendo los mismos: 0,95(**PVA**), 0,65(**IC**) y 0,50(**R**). En el caso de **PVA**, los valores más altos de Resistencia de adhesión se obtuvieron encolando probetas de tipo L - L. Los promedios de porcentajes de Falla en madera para probetas de tipo radial fueron altos para los tres adhesivos considerados, siendo: 91%(**PVA**), 100%(**IC**) y 93%(**R**). En el caso de probetas tipo E - E los porcentajes de Falla en madera son superiores al 79% para **PVA** e **IC**, manteniéndose altos (>71%) en probetas tipo L - L utilizando **PVA** e **IC**, siendo de 69% para probetas tipo E - L encoladas con **R**. La Retención del poder adhesivo en el caso de **IC** sería aceptable pero para probetas tipo L - L apenas alcanza el 48%, por lo tanto su utilización en elementos encolados no sería aconsejable para uso estructural ni cuando deban exponerse a alta temperatura y humedad relativa simultáneamente durante períodos prolongados ni para exposición directa a la intemperie. El **R** en cambio, presenta en general altos valores de Retención del poder adhesivo lo que lo hace apto para su utilización con **P. taeda** en elementos que deban exponerse a la intemperie, estructurales o expuestos a alta temperatura y humedad relativa simultáneamente y por períodos prolongados.

Debido a los acondicionamientos realizados a las tablillas, a las probetas elaboradas y a que los ensayos fueron realizados en cámara con temperatura y humedad relativa controladas (20°C / 65%HR) no se podrá analizar la variación de la Resistencia de adhesión respecto al contenido de humedad de la madera.

En todos los casos, el contenido de humedad de las probetas durante los ensayos estuvo entre el 10,5 y 11,5%.

## 7. CONCLUSIONES

1 - **Madera sólida:** Para cada una de las especies estudiadas existe proporcionalidad entre el Esfuerzo cortante y la densidad. A mayor densidad corresponde mayor Esfuerzo cortante, habiéndose obtenido coeficientes de correlación positivos para todas las especies y en particular altos para *E. tereticornis*, *P. taeda* y *P. elliottii*.

2 - En general, para especies latifoliadas se obtuvieron promedios de Esfuerzo cortante mayores que para coníferas.

3 - La presencia de grano entrecruzado en *E. globulus* influye negativamente en el promedio del Esfuerzo cortante, resultando así valores menores que los obtenidos para *E. grandis* (de menor densidad que el *E. globulus*).

4 - Entre las coníferas estudiadas se manifiesta una tendencia de mayor esfuerzo cortante obtenido para *P. elliottii* que para *P. taeda* aunque en los promedios de densidad de las probetas ensayadas prácticamente no hay diferencia. Esta tendencia coincide exactamente con la obtenida para ensayos de esfuerzo cortante por compresión realizados en este laboratorio en el Proyecto "Caracterización Tecnológica de las Principales Especies Forestales Cultivadas en el Uruguay", publicados en la Revista URUGUAY FORESTAL 9(22)1999.

5 - **PVA:** Para cada una de las especies se ha podido verificar que a mayor densidad corresponde mayor Resistencia de adhesión, con relaciones lineales y coeficiente de correlación alto y positivo en *E. tereticornis*.

Si bien se obtuvieron en general valores promedio aceptables para la Resistencia de adhesión con todas las especies, es llamativo el caso de *E. grandis* y *E. tereticornis*, para los cuales se podría esperar valores promedio más altos en función de los obtenidos para Madera sólida. Probablemente ocurra alguna reacción química entre el PVA y extractivos de dichas especies que debilitan la Resistencia de adhesión al utilizar este adhesivo. De todos modos el estudio de las causas que provocan esta disminución de la Resistencia de adhesión no estaba dentro de los objetivos planteados al comenzar este trabajo pero podrá ser estudiada en adelante.

A pesar de ello, el adhesivo se manifiesta como apto para el encolado de elementos a utilizar en interiores, y en condiciones de humedad relativa y temperatura no rigurosas con todas las especies estudiadas.

6 - **IC:** Los promedios de Resistencia de adhesión obtenidos con este adhesivo, en general son los más altos considerando todas las especies y adhesivos para ensayos realizados con probetas en condición seca. Esa tendencia no se mantiene cuando se estudia la Retención del poder adhesivo, a excepción de *E. grandis* y *P. taeda* (sería conveniente la realización de nuevos ensayos en probetas de tipo L - L para verificar o no el valor obtenido(48%)). No obstante, hay que considerar el hecho de que al ser un polímero resulta inestable con el aumento de temperatura; por lo tanto, su utilización queda restringida a elementos que se utilicen en interiores y en exteriores bajo techo de forma que no haya exposición durante períodos prolongados a alta humedad y temperatura simultáneamente. Lo mencionado anteriormente no hace sino justificar algunas de las razones por las que en las Normas **JAS** para fabricación de madera laminada y encolada de uso estructural este adhesivo no se menciona como apto.

7 - **R:** En ensayos de probetas en condición seca, se obtuvieron valores prácticamente iguales de Resistencia de adhesión entre las especies latifoliadas. Se ha podido constatar que en general este adhesivo tiene la más alta Retención del poder adhesivo, haciéndolo apto para su utilización con todas las especies estudiadas en particular para fabricar elementos que cumplan función estructural y/o que deban ser expuestos a alta humedad relativa y temperatura simultáneamente por largos períodos.

8 - Cuando se analiza la Resistencia de elementos encolados, normalmente se somete a las probetas elaboradas a partir de los mismos a esfuerzo cortante por compresión aplicada paralelamente a la superficie encolada y en la misma dirección del grano de las piezas encoladas. Este tipo de probetas no se ha realizado para este estudio, pero es indispensable su realización a la brevedad como forma de intentar correlacionar los datos que se obtengan del mismo con los que se acaban de informar y de ese modo realizar a futuro evaluaciones de la resistencia de las uniones encoladas a partir de probetas ensayadas por compresión, cuya elaboración y ensayo es mucho más simple que la realizada en esta oportunidad.

## 8. REFERENCIAS

- ASTM D 906-98 Standard test method for strength properties of adhesives in plywood type construction in shear by tension loading.
- ASTM D 2339-98 Standard test method for strength properties of adhesives in two-ply wood construction in shear by tension loading.
- JIS K 6851-1994 Testing methods for tensile strength of wood-to-wood adhesive bonds.
- EN 204:2001 Clasificación de adhesivos termoplásticos para Madera de uso no estructural.
- EN 205:1991 Métodos de ensayo para adhesivos para la madera de uso no estructural. Determinación de la resistencia a la cizalladura por tracción de juntas solapadas.
- ISO 6238 (2001) Adhesives-Wood to wood adhesive bonds-Determination of shear strength by compressive loading.
- Gluability of Southern Pine, Early wood and Latewood - Chung Y. Hse; Forest Products Journal 18(12)32-36(1968).
- Manual de la Madera de Eucalypto blanco - J. Bermúdez, M. Touza, F. Sanz; Fundación para o Fomento da Calidade Industrial e Desenvolvemento Tecnolóxico de Galicia
- ASTM D 1490-96 Standard Test method for nonvolatile contents of urea formaldehyde resin solutions.
- ASTM D 1582-98 Standard Test method for nonvolatile contents of liquid phenol, resorcinol, and melamine adhesives.
- ASTM D 4426-96 Standard Test method for determination of percent nonvolatile content of liquid phenolic resins used for wood laminating.
- JIS K6833-1994 General testing methods for adhesives.
- Mantero Alvarez, C. 1999: Propiedades Físicas y mecánicas de los Pinos: *P. Elliottii*; *P. Taeda*. REVISTA URUGUAY FORESTAL 9(22)1999.

## **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: [lbenites@latu.org.uy](mailto:lbenites@latu.org.uy)  
[rdecas@latu.org.uy](mailto:rdecas@latu.org.uy)