

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

**Propiedades Mecánicas y Calidad de Madera de
Eucalyptus grandis
del Norte de Uruguay**

Ing. Agr. OF Alvaro Pérez del Castillo

**Informe de Investigación N°4
*Julio 2001***



PRÓLOGO

El presente trabajo es el cuarto 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. Sadaaki Ohta por su apoyo técnico invaluable y su permanente colaboración.

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

A COFUSA por el apoyo recibido en la realización de esta investigación.

A todo el personal del aserradero IMNSUR S.A. por su ayuda incondicional.

Al Sr. Harushi Kobayashi por su apoyo constante.

Al equipo técnico del Sector Productos Forestales del LATU.

TABLA DE CONTENIDOS

	Página
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>MATERIALES Y METODOS</u>	2
2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA UTILIZADA.....	2
2.2. PREPARACIÓN DE TABLAS DE TAMAÑO REAL.....	2
2.3. PREPARACIÓN DE PEQUEÑAS PROBETAS LIBRES DE DEFECTOS.....	2
2.4. CLASIFICACIÓN DE LAS TABLAS DE TAMAÑO REAL.....	4
2.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS.....	4
2.5.1. <u>Descripción de la máquina universal de ensayos</u>	5
2.5.2. <u>Ensayos no-destructivos realizados</u>	6
2.5.3. <u>Ensayo destructivo para el cálculo del MOR en tablas de tamaño real</u>	6
2.5.4. <u>Ensayo de compresión paralela a las fibras</u>	8
2.5.5. <u>Ensayo de flexión estática en pequeñas probetas</u>	8
2.5.6. <u>Ensayo de dureza Janka</u>	9
2.5.7. <u>Medición del contenido de humedad y la densidad</u>	9
2.5.8. <u>Medición de color</u>	10
2.5.9. <u>Ensayo de penetración con Pilodyn</u>	10
3. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	11
3.1. CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD.....	11
3.2. ENSAYOS REALIZADOS EN TABLAS DE TAMAÑO REAL.....	12
3.2.1. <u>Variación del MOE con el contenido de humedad</u>	12
3.2.2. <u>Ensayos no-destructivos en tablas a un CH promedio de 26%</u>	14
3.2.3. <u>Ensayos realizados sobre tablas a un CH promedio de 12%</u>	16
3.2.4. <u>Variación del MOE entre los diferentes árboles muestreados</u>	20
3.2.5. <u>Defectos de tablas que afectan el MOR</u>	22
3.3. RESULTADOS DE LAS PROBETAS PEQUEÑAS LIBRES DE DEFECTOS.....	23
3.3.1. <u>Flexión estática</u>	23
3.3.2. <u>Compresión paralela a las fibras</u>	25
3.3.3. <u>Dureza Janka</u>	26
3.3.4. <u>Resultados de medición de color</u>	27
3.3.5. <u>Resultados obtenidos con el Pilodyn</u>	28
3.3.6. <u>Correlación entre diferentes propiedades mecánicas en pequeñas probetas</u>	29
3.3.7. <u>Variación de las propiedades mecánicas de probetas pequeñas entre árboles</u>	30

3.4. CORRELACIONES ENTRE TABLAS Y PEQUEÑAS PROBETAS	32
4. <u>CLASIFICACIÓN DE <i>E. GRANDIS</i> SEGÚN NORMAS JAS</u>	33
5. <u>CONCLUSIONES</u>	34
6. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	35

PROPIEDADES MECÁNICAS Y CALIDAD DE MADERA DE *EUCALYPTUS GRANDIS* DEL NORTE DE URUGUAY

RESUMEN

En este estudio se analiza la posibilidad de aplicación de cinco métodos no-destructivos para la estimación del módulo de elasticidad (MOE) en tablas de *Eucalyptus grandis* de rápido crecimiento cultivados en el departamento de Rivera, al norte de Uruguay.

De estas tablas se calculó el Módulo de rotura (MOR) y posteriormente se cortaron y ensayaron pequeñas probetas libres de defectos (de las mismas tablas anteriormente ensayadas) para el estudio de otras propiedades mecánicas.

Se analizó la variación de dichas propiedades dentro de cada árbol (variación de médula a corteza) y la variación entre árboles.

PALABRAS CLAVE: *Eucalyptus grandis*, módulo de elasticidad, módulo de rotura, propiedades mecánicas, ensayos no-destructivos.

1. INTRODUCCIÓN.

Hasta el año 2000, la superficie con *Eucalyptus spp.* abarcaba casi el 80% de la superficie total forestada bajo la ley forestal del año 87. Parte de esta área está ocupada por *Eucalyptus grandis*, siendo ésta una de las especies forestales de mayor importancia en nuestro país. Un alto porcentaje de esta superficie de *Eucalyptus grandis* tiene como destino final el aserrado, lo que implica que son plantaciones que fueron sometidas a sucesivas podas y raleos con el fin de obtener madera de calidad (grandes diámetros y ausencia de nudos, entre otros).

Es de fundamental importancia para la futura comercialización de nuestras maderas (tanto para el mercado interno como para exportación) la caracterización y el conocimiento profundo de las diferentes propiedades físicas, químicas y mecánicas, para así en el futuro tener acceso a más mercados y con mejores precios. Por otra parte estos conocimientos serán de utilidad para lograr un mejor aprovechamiento de la madera obtenida de las plantaciones sustentables de nuestro país. Para los diferentes usos finales a los que se pueda destinar la madera, será necesario conocer sus propiedades de resistencia así como realizar una clasificación según sus propiedades mecánicas, principalmente por métodos no-destructivos. Es importante conocer la variación de las distintas propiedades de la madera tanto dentro de árboles (variación de médula a corteza y en altura), como entre árboles (muy importante desde el punto de vista del mejoramiento genético).

El siguiente informe de investigación se basa en el estudio de diferentes propiedades mecánicas de *Eucalyptus grandis* entre las que se destacan: estimación del módulo de elasticidad por cinco métodos no-destructivos, flexión estática en tablas de tamaño real y probetas libres de defectos (cálculo del módulo de elasticidad (MOE) y el módulo de rotura (MOR)), dureza (dureza Janka y penetración con Pilodyn), medición de color y compresión paralela a las fibras.

Debido a que la calidad de la madera puede variar según la zona o región en que el monte es plantado, el LATU, con el apoyo de JICA, está investigando como influyen en la calidad de la madera los diferentes sitios de plantación.

2. MATERIALES Y METODOS.

2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA UTILIZADA.

Se cortaron 10 árboles de *Eucalyptus grandis* de un monte del departamento de Rivera. Fueron utilizados para este estudio árboles plus seleccionados por fenotipo. De cada individuo se utilizó la troza basal (3 metros). La edad de los árboles era de 16 años y medio. El diámetro a la altura del pecho (DAP) varió entre 45 y 60 centímetros. Los valores individuales de DAP de cada árbol se pueden observar en la Tabla N°1.

Tabla N°1: DAP de los árboles seleccionados.

Árbol N°	72	73	75	76	77	78	80	155	156	157
DAP (cm)	56,4	50,3	47,0	45,0	48,3	48,8	55,3	59,1	54,9	60,3

Las trozas basales de los árboles seleccionados se clasificaron en 3 clases diamétricas. Esta clasificación se puede observar en la Tabla N°2.

Tabla N°2: Clasificación de árboles según clase diamétrica.

Clase Diamétrica (cm)	44-50	50-56	56-62
Árbol N°	75, 76, 77, 78	73, 80, 156	72, 155, 157
Promedio de DAP (cm) de cada clase diamétrica	47,3	53,5	58,6

2.2. PREPARACIÓN DE TABLAS DE TAMAÑO REAL.

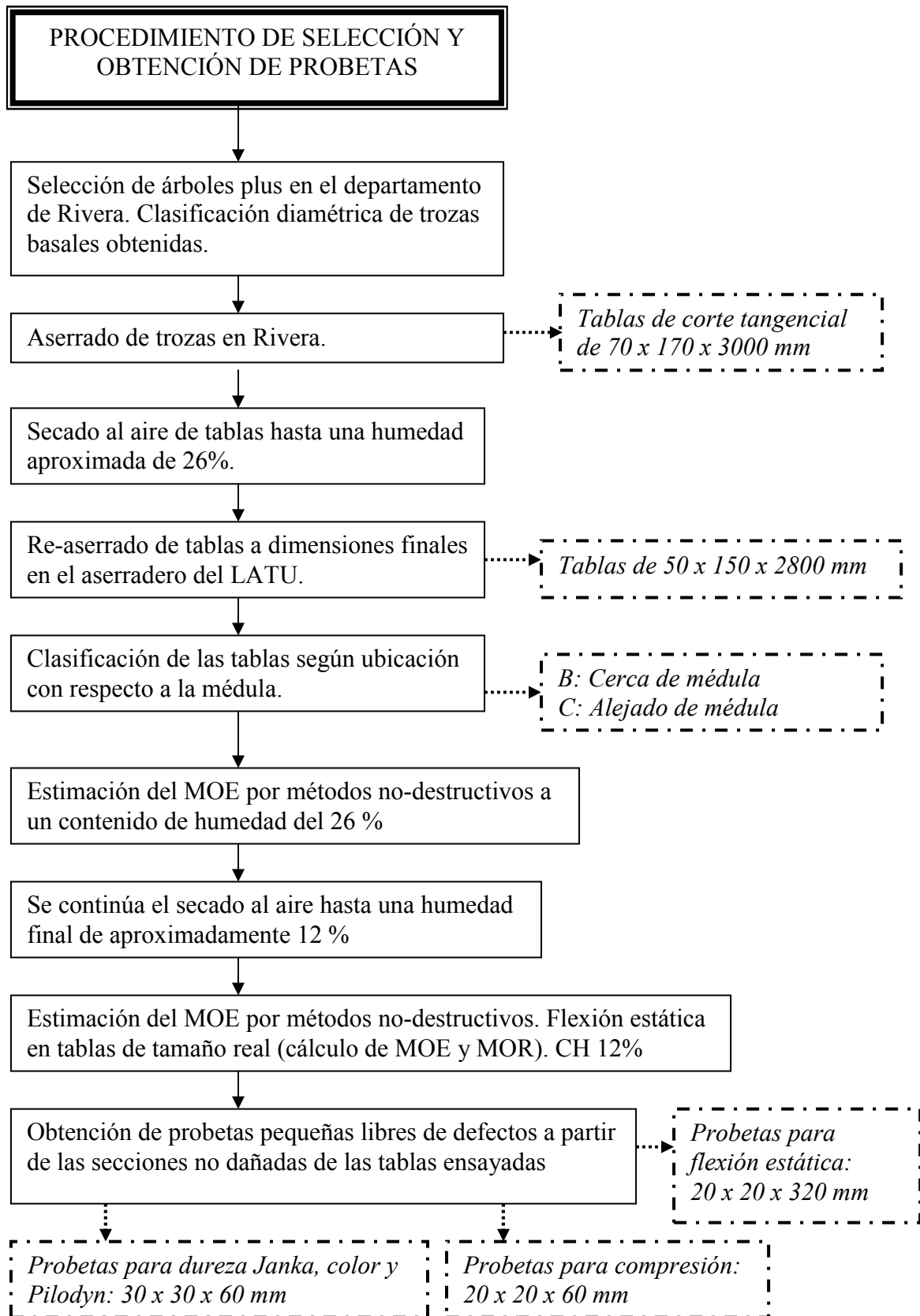
Las trozas fueron aserradas en Rivera inmediatamente después de ser cortadas. Inicialmente se obtuvieron 52 tablas de corte tangencial de 70 mm de espesor x 170 mm de ancho x 3000 mm de largo. Las tablas cortadas fueron secadas al aire hasta una humedad aproximada de 26%. Cuando se alcanzó esta humedad, se llevaron a las dimensiones finales que fueron de 50 mm de espesor x 150 mm de ancho x 2800 mm de largo. Con tablas de estas dimensiones se realizaron los ensayos no-destructivos y destructivos (MOR).

2.3. PREPARACIÓN DE PEQUEÑAS PROBETAS LIBRES DE DEFECTOS.

Una vez realizado el ensayo destructivo para cálculo del MOR, de cada una de las 52 tablas se cortó una probeta de 30mm de ancho x 30 mm de espesor x 500 mm de largo. A su vez, de cada una de estas probetas se cortaron:

- 1 probeta para flexión estática de 20 x 20 x 320 mm.
- 1 probeta para compresión de 20 x 20 x 60 mm .
- 2 probetas para dureza Janka de 30 x 30 x 60 mm (sobre estas, en la cara opuesta a la penetración de dureza Janka, se realizó Pilodyn y medición del color).

Todas las probetas fueron acondicionadas a un contenido de humedad del 12%.



2.4. CLASIFICACIÓN DE LAS TABLAS DE TAMAÑO REAL.

Inicialmente se realizó una clasificación de las tablas según su ubicación en la troza. Debido a que ninguna tabla incluía médula, éstas se clasificaron como:

Tablas “B” ⇨ tablas ubicadas cerca de la médula.

Tablas “C” ⇨ tablas ubicadas lejos de la médula (cercanas a la corteza).

Una vez realizado el ensayo destructivo de flexión, se realizó una segunda clasificación. En este caso también se tuvo en cuenta, además de la primera clasificación por ubicación dentro de la troza, el análisis de la falla de flexión. O sea, se clasificaron como:

Tablas “B-A” ⇨ tablas ubicadas cerca de la médula con algún defecto visual (nudo, pudrición, rajadura, etc.) que influyó en la ruptura.

Tablas “B-B” ⇨ tablas ubicadas cerca de la médula sin defectos visuales que influyeron en la ruptura.

Tablas “C” ⇨ tablas ubicadas lejos de la médula.

2.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS.

Las tablas se secaron al aire hasta un contenido de humedad de aproximadamente 26%. En ese momento se realizó la determinación del MOE mediante los siguientes métodos no-destructivos: Pundit, FFT Analyzer, Fakopp, Sylvatest y Máquina Universal de Ensayos con dos distancias entre apoyos (spans) diferentes (1400 y 2520 mm).

Luego se continuó con el secado al aire hasta llegar a un contenido de humedad final del 12%. Nuevamente se realizaron los ensayos no-destructivos para determinar el MOE, en este caso mediante el FFT Analyzer y Máquina Universal (span 2520 mm). A este mismo contenido de humedad, una vez finalizados los ensayos no-destructivos, se procedió a determinar el MOR (según norma ASTM D198).

Luego, con las secciones de las tablas no dañadas, se cortaron pequeñas probetas libres de defectos para la realización de ensayos de dureza Janka, Pilodyn, color, compresión paralela a las fibras y flexión estática.

2.5.1. Descripción de la máquina universal de ensayos.

La Máquina Universal de Ensayos fue donada por JICA como parte del “Proyecto de Tecnología de Ensayos de Productos Forestales”. Es una máquina Minebea, modelo AL-250kNB. Permite hacer una gran cantidad de ensayos con alta precisión. Dependiendo de la carga que se utilizará en el ensayo, permite seleccionar 3 capacidades distintas (50 kN, 100 kN y 250 kN). Se pueden realizar ensayos con madera de tamaño real (madera estructural, laminada, encolada, etc.), así como ensayos con probetas pequeñas libres de defectos.



Foto N°1: Máquina Universal de Ensayos

2.5.2. Ensayos no-destructivos realizados.

Los métodos no-destructivos utilizados para el cálculo del MOE fueron:

- ⇒ FFT Analyzer (Frecuencia de vibración longitudinal).
- ⇒ Pundit (Tiempo de propagación de onda de ultrasonido).
- ⇒ Fakopp (Tiempo de propagación de onda inducida por impacto).
- ⇒ Sylvatest (Tiempo de propagación de onda de ultrasonido).
- ⇒ Máquina Universal de ensayos (span 1400 y 2520 milímetros). Carga aplicada sobre cara de la tabla (Ver Foto N°2).

Para obtener más información acerca de estos métodos ver Perez Favaro A.,2000; “Informe de Investigación N°1/ Proyecto LATU-JICA”.

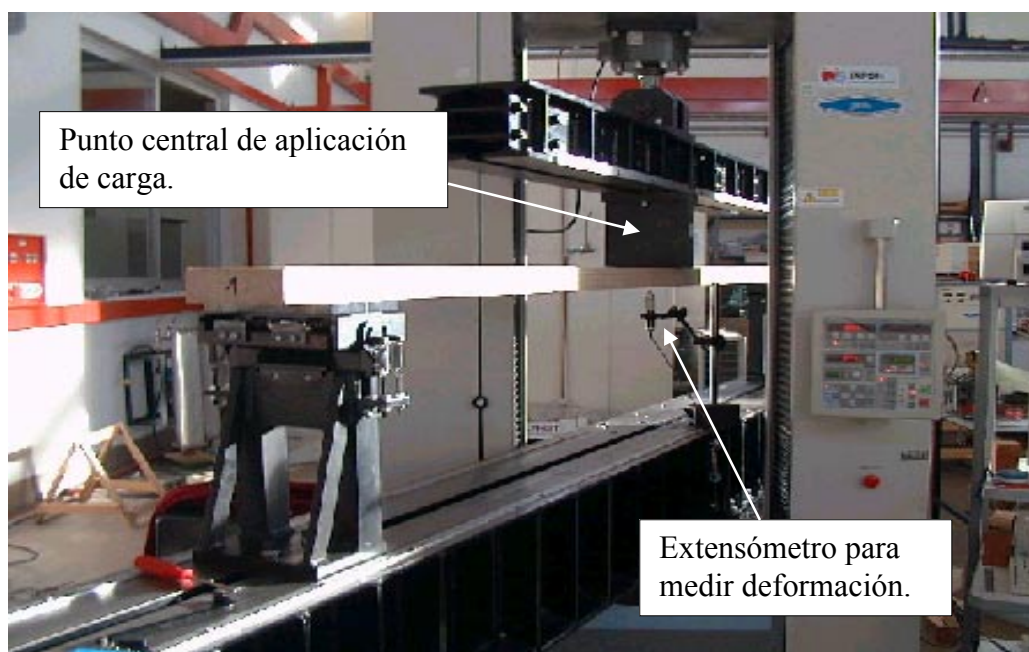


Foto N°2: Ensayo no-destructivo en Máquina Universal de Ensayos. Un punto de aplicación de carga sobre la cara de la tabla más próxima a la corteza.

2.5.3. Ensayo destructivo para el cálculo del MOR en tablas de tamaño real.

El ensayo se realizó según la norma ASTM D198. Las condiciones de ensayo para el cálculo del MOR fueron las siguientes:

- Dos puntos de aplicación de carga a 840 mm.
- Aplicación de carga sobre el canto de la tabla.
- Velocidad de ensayo constante de 20 mm/min.
- Celda de carga de 250 kN.
- Distancia entre apoyos de 2520 mm (span).
- Se utilizaron 2 extensómetros para medir el desplazamiento (cálculo del MOE):
 - ⇒ uno sobre canto superior (Yoke).
 - ⇒ uno en línea neutra (EXT 1).

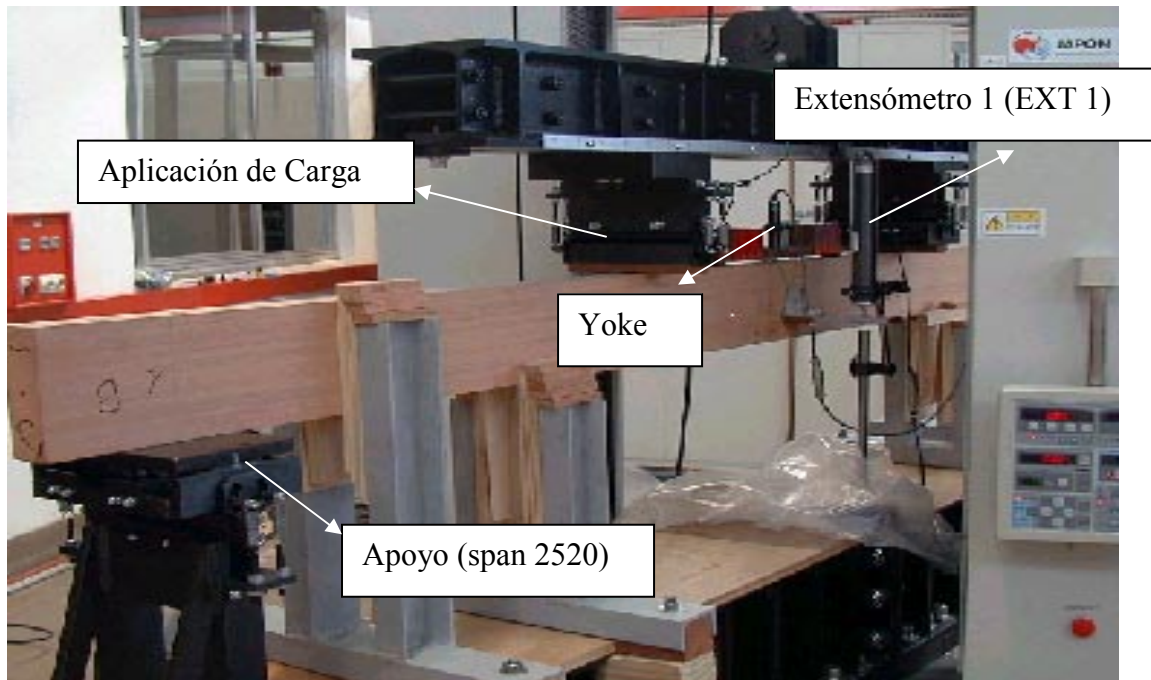


Foto N°3: Máquina Universal de Ensayos. Flexión estática de tablas.

Es importante aclarar que por un tema de seguridad, en los ensayos de flexión estática con probetas de tamaño real, la fuerza se aplica sobre el canto de la tabla que presente menor cantidad de defectos (nudos, bolsas de kino, rajaduras, corazón esponjoso, pudrición, etc.) y madera de mejor calidad (madera más alejada de la médula). O sea, la zona de tensión en la tabla a ensayar es el canto que presenta mayor cantidad de defectos y madera de menor resistencia a la flexión.

Posteriormente a la destrucción de las tablas, se observaron los diferentes patrones de ruptura y se tomaron fotografías de estos y de la influencia de los defectos en estos patrones.

2.5.4. Ensayo de compresión paralela a las fibras.

El ensayo se realizó según las normas JIS (Z 2101-1994) en probetas de 20 mm x 20 mm x 60 mm.

Las condiciones de ensayo fueron:

- Velocidad de ensayo constante de 1 mm/min.
- Celda de carga de 50 kN.



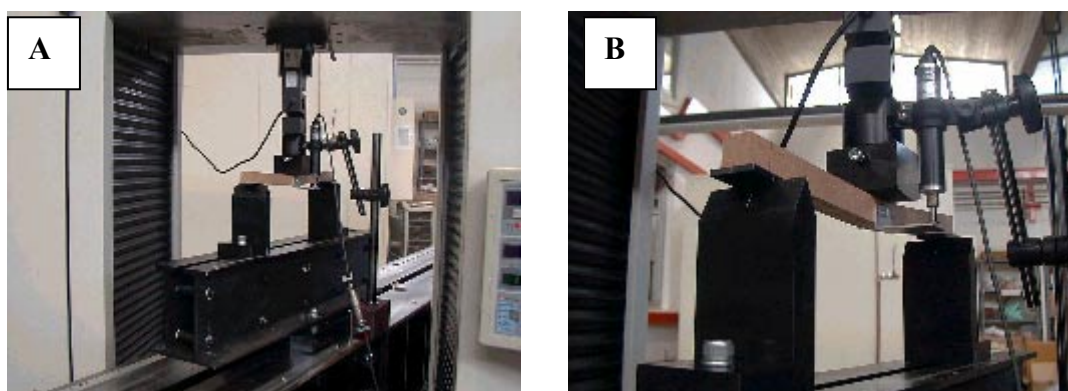
**Foto N° 4: A → Ensayo de compresión paralela a las fibras.
B → Detalle de rotura de la probeta**

2.5.5. Ensayo de flexión estática en pequeñas probetas.

Este ensayo se realizó según la norma JIS (Z 2101-1994). Las dimensiones de las probetas utilizadas eran de 20 mm x 20 mm x 320 mm. Se calculó MOE y MOR.

Las condiciones de ensayo fueron:

- Un punto central de aplicación de carga.
- Aplicación de carga en dirección tangencial a los anillos de crecimiento (cara radial).
- Velocidad de ensayo constante de 2,5 mm/min.
- Celda de carga de 50 kN.
- Distancia entre apoyos de 280 mm (span).
- Se utilizó 1 extensómetro en la línea neutra (medida de desplazamiento) para estimación del MOE



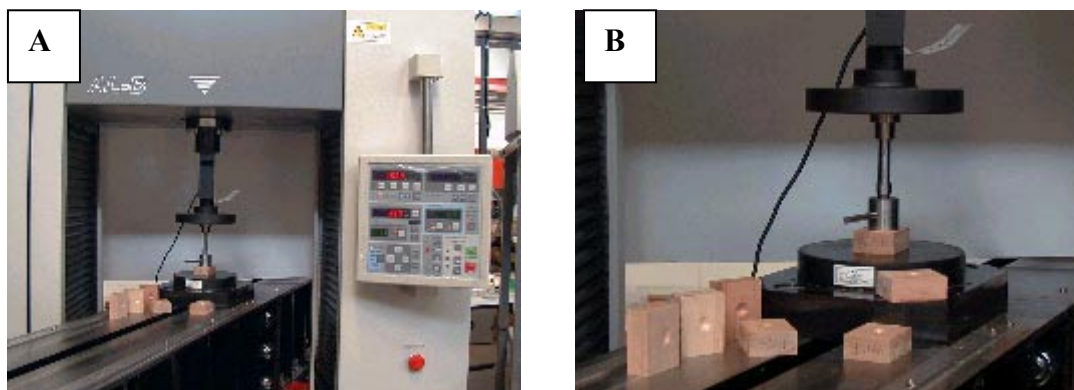
**Foto N° 5: A → Ensayo de flexión estática.
B → Detalle del extensómetro para estimación del MOE.**

2.5.6. Ensayo de dureza Janka.

Se confeccionaron probetas de 30 mm x 30 mm x 60 mm. La penetración se realizó en la cara tangencial de la probeta más próxima a la médula, en dirección radial.

Las condiciones de ensayo fueron:

- Velocidad de ensayo constante de 6 mm/min.
- Celda de carga de 50 kN.
- Diámetro del cabezal de penetración de 11,3 mm (1 cm² de superficie de penetración).



**Foto N° 6: A→ Ensayo de dureza Janka.
B→ Detalle de cabezal y de probetas ensayadas.**

2.5.7. Medición del contenido de humedad y la densidad.

El contenido de humedad fue determinado antes de realizar los ensayos no-destructivos y destructivos (o sea en dos ocasiones) con un xilohigrómetro de capacitancia marca MOCO. Se realizaron dos medidas en cada tabla, para luego calcular el promedio.

Una vez realizado el ensayo destructivo se cortaron dos probetas pequeñas de cada tabla, de la misma zona donde se había realizado la medida con el xilohigrómetro, para así poder determinar la humedad por el método de secado en estufa (contenido de humedad en base seca).

$$\text{Contenido de Humedad(\%)} = ((\text{Peso Húmedo}-\text{Peso Seco})/\text{Peso Seco})\times 100$$

Para poder comparar los resultados de contenido de humedad obtenidos con el xilohigrómetro MOCO con los de secado en estufa (método de referencia), ambas medidas se realizaron casi al mismo tiempo.

La densidad de las tablas se determinó mediante la siguiente fórmula: $d=m/v$.

Dónde: ➤ d = densidad (g/cm³)

➤ m = masa (g)

➤ v = volumen (cm³) (medido por dimensiones).

El contenido de humedad al cual se determinó la densidad fue el que presentaban las tablas al momento de ser ensayadas.

El volumen se midió por dimensiones. La densidad se midió en las tablas de tamaño real en dos oportunidades (antes de realizar los ensayos no-destructivos y destructivos). También se midió la densidad de todas las probetas pequeñas libres de defectos ensayadas.

2.5.8. Medición de color.

Para la medición de color de las probetas se empleó un espectrómetro Minolta CR 300. Se midieron las coordenadas L^* , a^* y b^* (sistema CIELAB) que representan el color de un sustrato y lo caracterizan como un punto en el espacio del color. Mientras que a^* y b^* definen al color, L^* es la luminosidad, un indicador de la claridad del color. Un valor de $L^*=100$ representaría al color blanco y $L^*=0$ al color negro. Valores negativos de a^* representan el verde, valores positivos el rojo. Valores negativos de b^* describen los azules, mientras que los positivos los amarillos. El punto de corte de los ejes es el color gris.

2.5.9. Ensayo de penetración con Pilodyn.

El ensayo se llevó a cabo sobre las mismas probetas de dureza Janka pero en la cara opuesta. El Pilodyn es un equipo de origen suizo que mediante un resorte que ejerce una fuerza de 6 J, produce la penetración de un émbolo de 2,5 mm de diámetro. Se mide la penetración del émbolo en milímetros.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1. CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD.

En la Tabla N°3 se muestran los resultados de contenido de humedad y densidad obtenidos para las tablas de tamaño real ensayadas.

Tabla N°3: Contenido de humedad y densidad de las tablas.

	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			Diferencia entre MOCO (final) y Secado en Estufa	DENSIDAD (g/cm ³)	
	MOCO		SECADO EN ESTUFA		INICIAL	FINAL
	INICIAL	FINAL				
MEDIA	25,8	15,4	12,2	3,2	0,573	0,531
MAX	35,8	21,8	13,1	8,7	0,655	0,618
MIN	15,5	10,8	11,3	-0,5	0,450	0,432
STD	4,83	2,40	0,49	1,91	0,055	0,048
CV (%)	19	16	0,040	16	10	9,0

Si se comparan los valores obtenidos con el MOCO y los obtenidos por secado en estufa, se ve que la media difiere en un 26%. En la Tabla N°3, se observa que este tipo de instrumentos son útiles para estimar la humedad cuando se utilizan en madera con bajo contenido de humedad

Por otra parte, se calculó la densidad de todas las probetas pequeñas libres de defectos ensayadas en este estudio. En la Tabla N°4 se pueden ver los resultados obtenidos.

Tabla N°4: Densidad promedio de las probetas pequeñas libres de defectos.

	DENSIDAD (g/cm ³)		
	DUREZA JANKA	COMPRESIÓN	FLEXIÓN
MEDIA	0,559	0,548	0,550
MAX	0,721	0,683	0,662
MIN	0,432	0,394	0,397
STD	0,061	0,071	0,067
CV (%)	11	13	12

NOTA: Todas las probetas pequeñas libres de defectos fueron acondicionadas a un 12% de humedad

3.2. ENSAYOS REALIZADOS EN TABLAS DE TAMAÑO REAL.

3.2.1. Variación del MOE con el contenido de humedad.

Sobre el punto de saturación de las fibras, la variación del contenido de humedad no afecta las propiedades elásticas y de resistencia. Por debajo de este punto, ocurre contracción e hinchamiento incrementando o reduciendo la cohesión y la rigidez (Kollmann,F.; Coté,W.; 1968). Debido a esto, se estimó el MOE de todas las tablas a dos contenidos de humedad diferentes (26 y 12%). A continuación en la Tabla N°5, se observan los resultados obtenidos por medio de ensayos no-destructivos a un contenido de humedad promedio del 26%.

Por otra parte, en la Tabla N°6, se observa el MOE estimado por métodos no-destructivos a un 12% de contenido de humedad promedio y el valor de MOR.

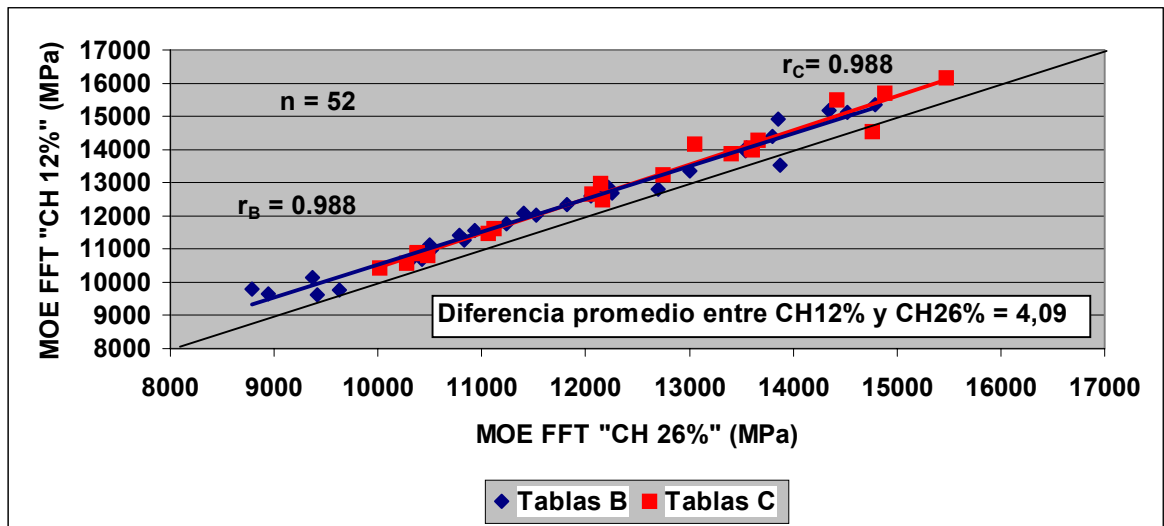
Tabla N°5: MOE estimado por métodos no-destructivos (CH = 26%).

	MOE (CH=26%) (MPa)					
	Pundit	FFT Analyzer	Fakopp	Sylvatest	Máquina Universal	
					Carga sobre cara	
					Span 1400	Span 2520
MEDIA	13200	12100	13400	14400	10700	11400
MAX	16000	15400	16000	17000	13600	14300
MIN	9900	8800	10400	11400	7800	8200
STD	1800	1700	1600	1700	1600	1700
CV (%)	13	14	12	12	15	15

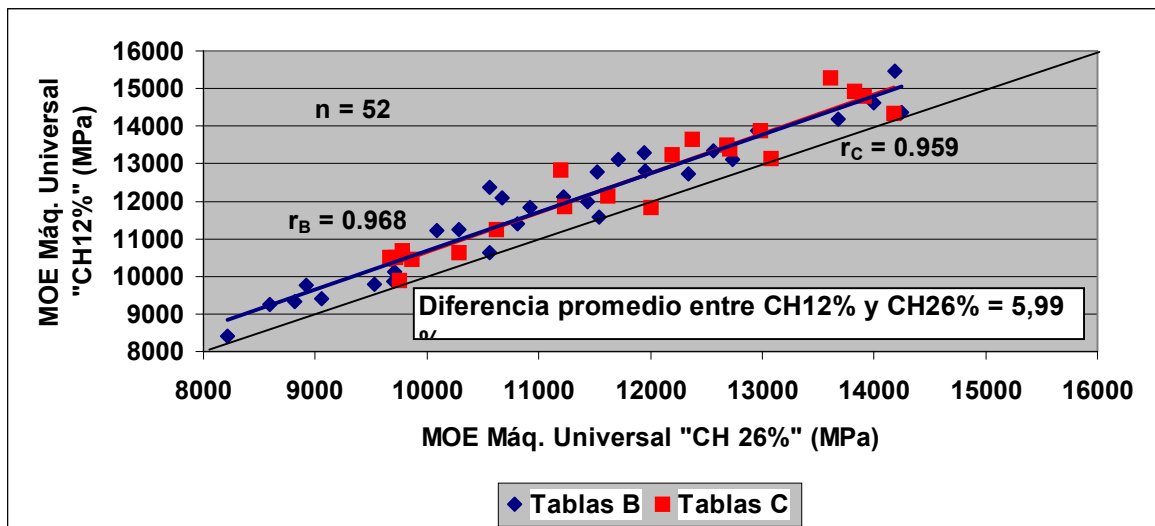
Tabla N°6: MOE estimado por métodos no-destructivos y MOR (CH = 12%).

	MOE (CH=12%) (MPa)				MOR (MPa)
	FFT Analyzer	Máquina Universal			Máquina Universal
		Carga sobre cara	Carga sobre canto		
			Span 2520	EXT 1	
MEDIA	12500	12100	11200	12600	54
MAX	16200	15500	14700	17000	69
MIN	9600	8400	8000	8100	23
STD	1800	1800	1600	2400	11
CV (%)	14	15	14	19	21

A su vez, se presenta la correlación encontrada entre los valores de MOE obtenidos a través del FFT Analyzer para los dos contenidos de humedad calculados. La misma gráfica se presenta para los resultados obtenidos con la Máquina Universal (span 2520 mm). Como se puede observar tanto en la Gráfica N°1 como en la Gráfica N°2, las correlaciones son altas y positivas, encontrándose una diferencia promedio de los valores de MOE para los diferentes contenidos de humedad del orden de un 5%.



Gráfica N°1: Influencia del contenido de humedad en los valores de MOE obtenidos mediante el FFT Analyzer.

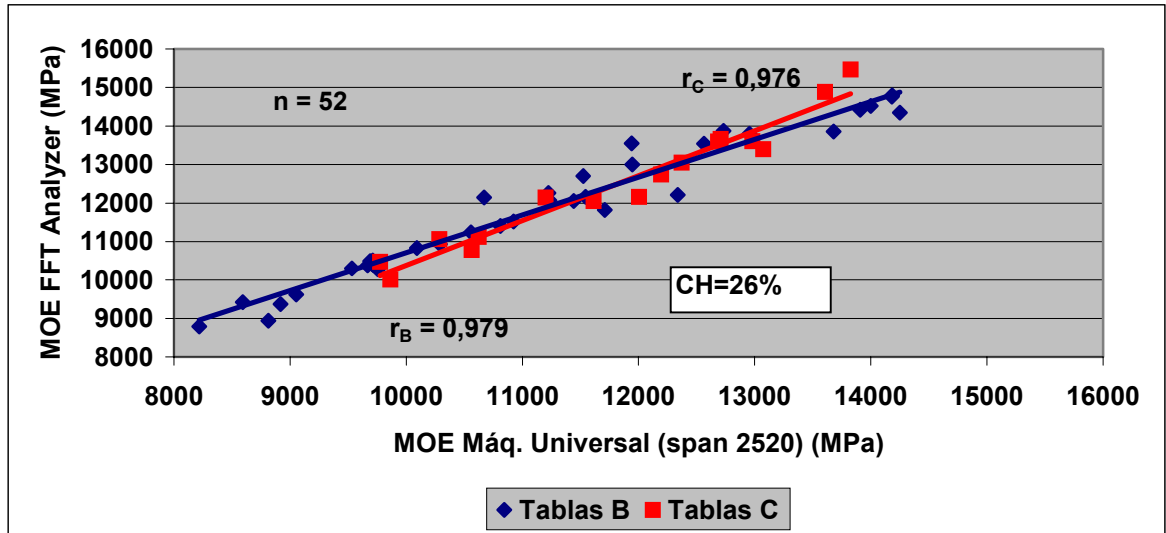


Gráfica N°2: Influencia del contenido de humedad en los valores de MOE obtenidos mediante la Máquina Universal (span 2520 mm).

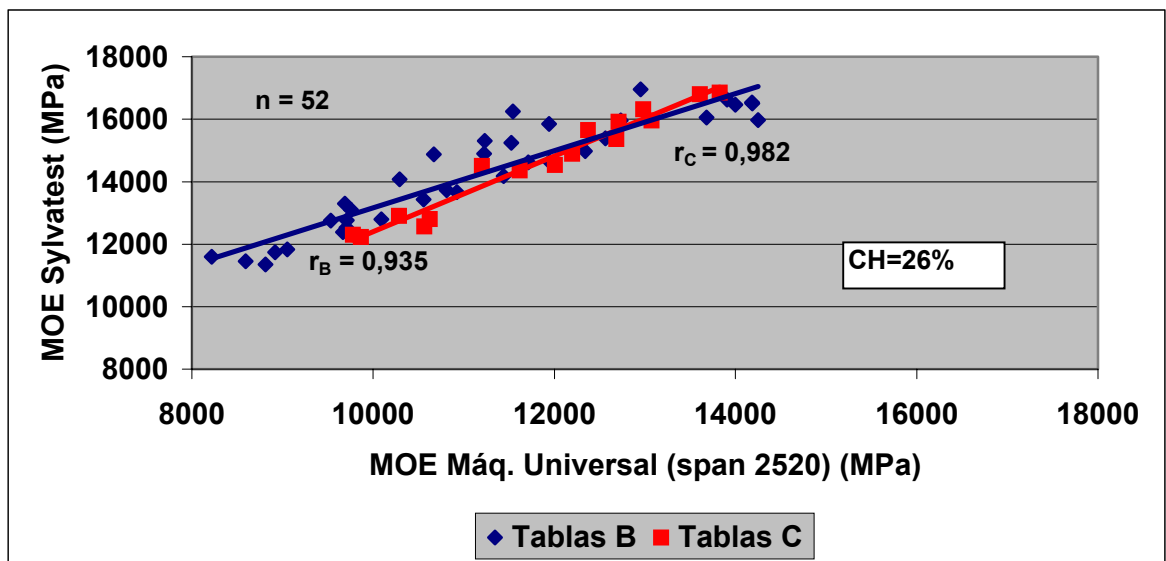
Mediante la Prueba t para dos muestras, se observó que las medias de MOE calculadas para el FFT Analyzer para dos contenidos de humedad no son significativamente diferentes, con un 95% de confianza. Para el ensayo con la Máquina Universal (span 2520 mm), sí se encontraron diferencias significativas para este mismo intervalo de confianza.

3.2.2. Ensayos no-destructivos en tablas a un contenido de humedad promedio de 26%.

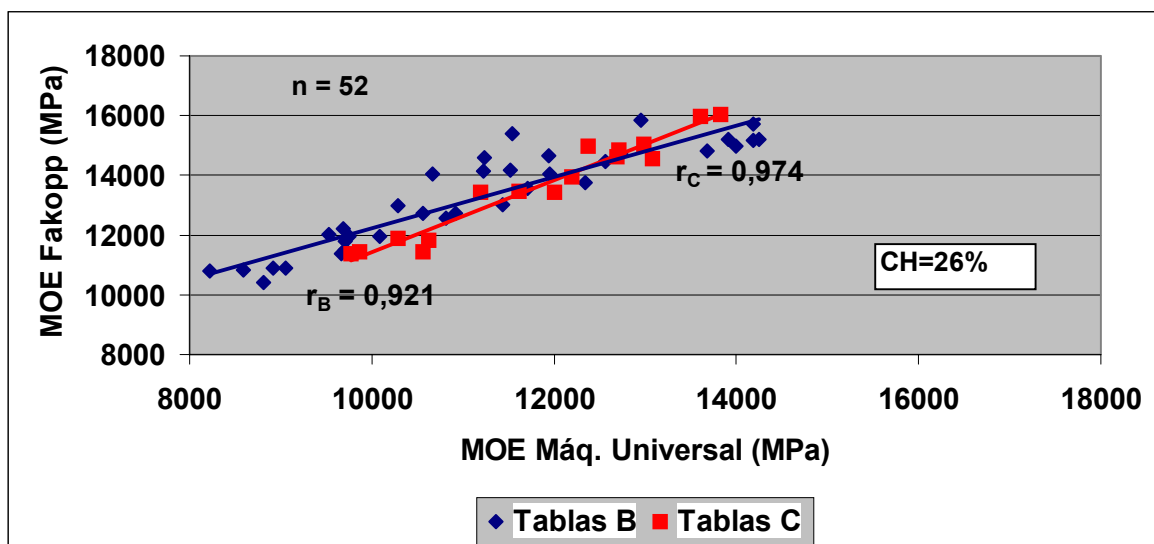
Para poder comparar los resultados, se correlacionó el MOE obtenido con la Máquina Universal (span 2520 mm) con el MOE obtenido con los otros equipos no-destructivos.



Gráfica N°3: Correlación entre el MOE obtenido con Máquina Universal (span 2520 mm) y el obtenido con el FFT Analyzer.



Gráfica N°4: Correlación entre el MOE (MPa) obtenido con Máquina Universal (span 2520 mm) y el obtenido con el Sylvatest.



Gráfica N°5: Correlación entre el MOE obtenido con Máquina Universal (span 2520 mm) y el obtenido con el Fakopp.

Como se observa en las Gráficas N°3, 4 y 5, el coeficiente de correlación es alto (siempre mayor a 0,9) y positivo, tanto para las tablas “B” como para las tablas “C”. Esto nos permite decir que todos los métodos no-destructivos utilizados fueron apropiados para estimar las propiedades de flexión de tablas de tamaño real.

Por otra parte, teniendo en cuenta los resultados de MOE obtenidos con la Máquina Universal y los obtenidos por medio de los equipos de ensayos no-destructivos (FFT Analyzer, Sylvatest, Pundit y Fakopp), se puede ver que estos últimos son siempre superiores a los de la Máquina Universal. En la Tabla N°7 se ve la diferencia encontrada.

Tabla N°7: Diferencia porcentual entre los valores de MOE calculados.

	Pundit	FFT (V. Long)	Fakopp	Sylvatest
Máquina Universal (span 1400) CH=26%	24%	13%	25%	34%
Máquina Universal (span 2520) CH=26%	16%	6%	17%	26%
Máquina Universal (span 2520) CH=12%	--	3%*	--	--

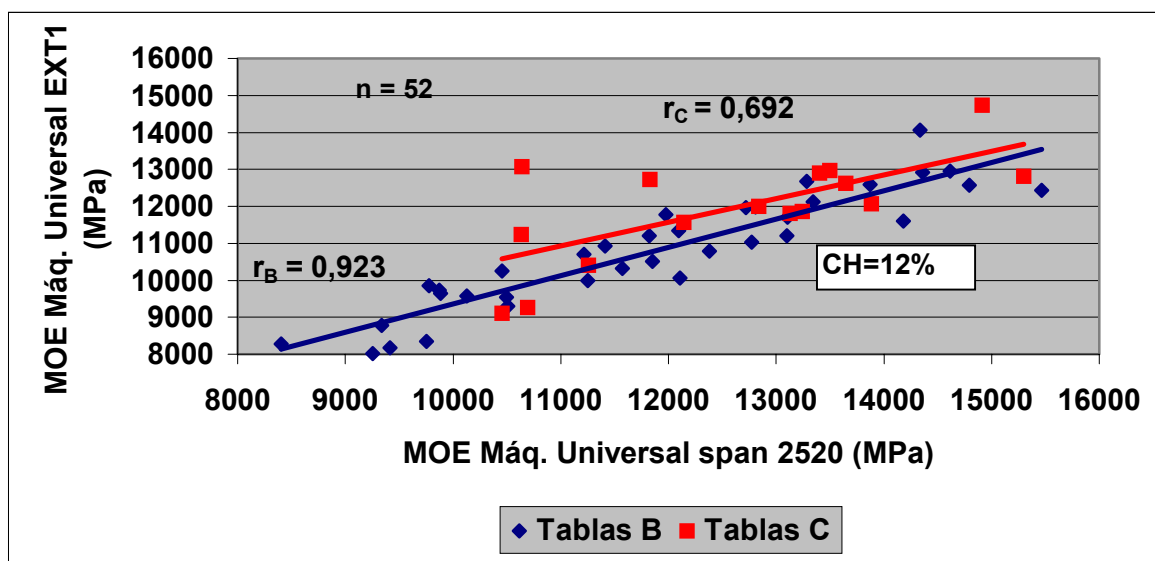
*no hay diferencias significativas entre las medias del MOE calculado (95% de confianza)

Observando los resultados de la Tabla N° 7 y los coeficientes de correlación de las Gráficas N°3, 4 y 5, se concluye que el FFT Analyzer es el equipo más apropiado para la estimación del MOE en tablas de tamaño real. Por otra parte, este método es óptimo desde el punto de vista práctico, ya que tiene alta reproducibilidad, es simple y no requiere poner en contacto con la madera ni clavos ni sensores.

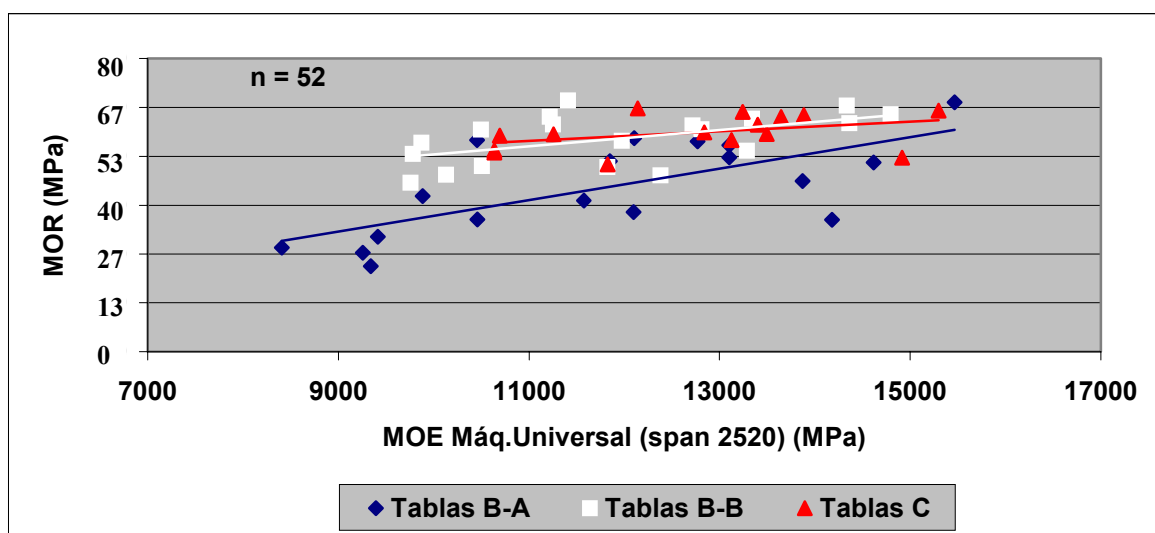
3.2.3. Ensayos realizados sobre tablas a un contenido de humedad promedio de 12%.

Cuando se alcanzó un contenido de humedad promedio de aproximadamente 12%, se realizaron nuevamente algunos de los ensayos no-destructivos para estimar el MOE. En este caso el MOE se calculó mediante el FFT Analyzer y a través de la Máquina Universal por tres métodos diferentes (span 2520 mm, Yoke y EXT 1).

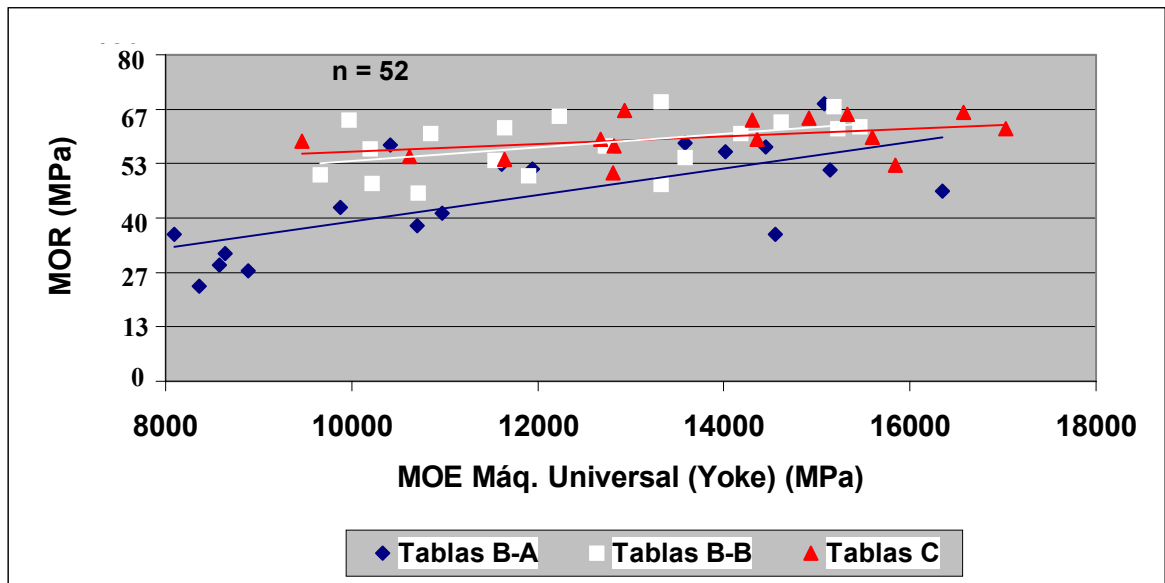
Como se observa en la Gráfica N°6, el índice de correlación entre el MOE calculado por dos métodos diferentes, es alto y positivo, principalmente para las tablas “B”.



Gráfica N°6: Correlación entre el MOE obtenido con Máquina Universal (span 2520 mm) y el obtenido también con la Máquina Universal en el Extensómetro 1.

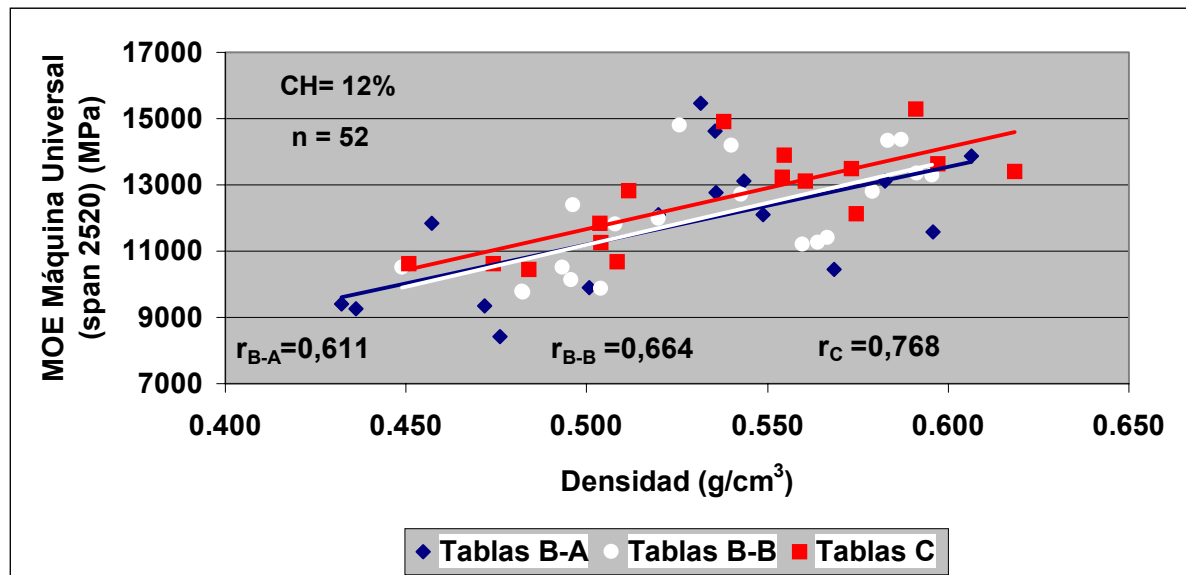


Gráfica N°7: Correlación entre el MOE obtenido con Máquina Universal (span 2520 mm) y el MOR.



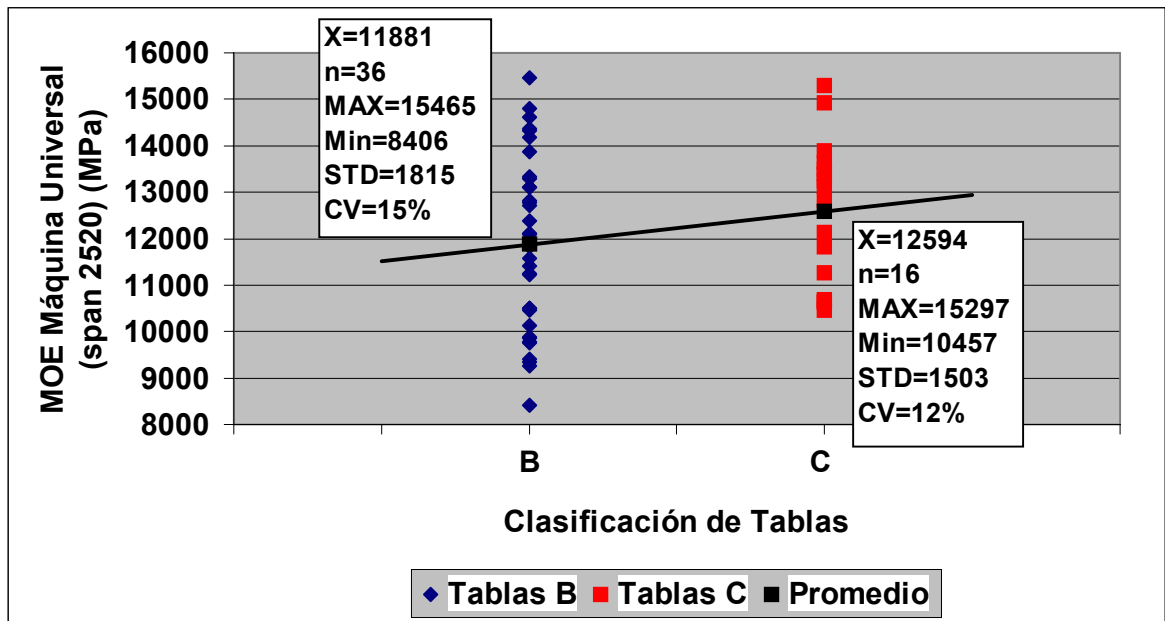
Gráfica N°8: Correlación entre el MOE obtenido con Máquina Universal (Yoke) y el MOR.

En las Gráfica N°6 se muestra la correlación entre dos métodos diferentes de estimación del MOE, mientras que en las Gráficas N°7 y N°8, se muestra la correlación entre el MOR y el MOE (estimado a través de la Máquina Universal con span 2520 y con el Yoke). Es importante observar en estas gráficas, como las tablas clasificadas como “B-A”, muestran generalmente valores de MOE o MOR inferiores a las otras dos categorías de tablas.



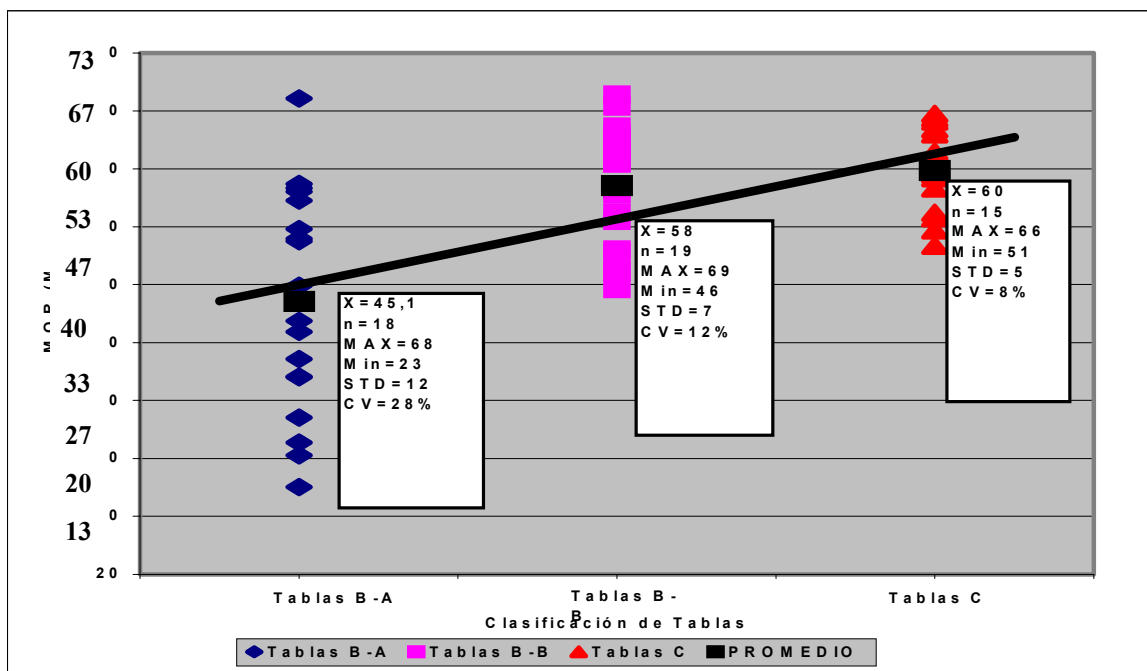
Gráfica N°9: Correlación entre el MOE obtenido con Máquina Universal y la densidad.

En la Gráfica N°9, se correlaciona la densidad y el MOE. A pesar que la correlación encontrada fue inferior a la esperada, mediante un estudio de residuales, se observó que por más que la dispersión de los puntos es grande, el modelo se ajusta adecuadamente.



Gráfica N°10: MOE según clasificación de tablas por ubicación en troza.

En la Gráfica N°10, se puede observar la variación del MOE (span 2520 mm) para las diferentes categorías de tablas, clasificadas según ubicación dentro de las trozas. Como era de esperar, las tablas alejadas de la médula presentaron un MOE promedio mayor y un coeficiente de variación menor que las tablas “B”, o sea las tablas cercanas a la médula. Esto se debe a que las tablas “C” son tablas con mayor porcentaje de madera adulta, o sea madera de mejor calidad. Es importante aclarar que esta diferencia entre las tablas según su ubicación dentro de la troza (variación desde médula a la corteza) en *E. grandis* (latifoliada) fue menor a la encontrada en un ensayo similar realizado en *Pinus taeda* (conífera). Dicha diferencia entre Tablas “B” y “C” fue del orden del 6% para *E. grandis* y del 18% para *P. taeda*.



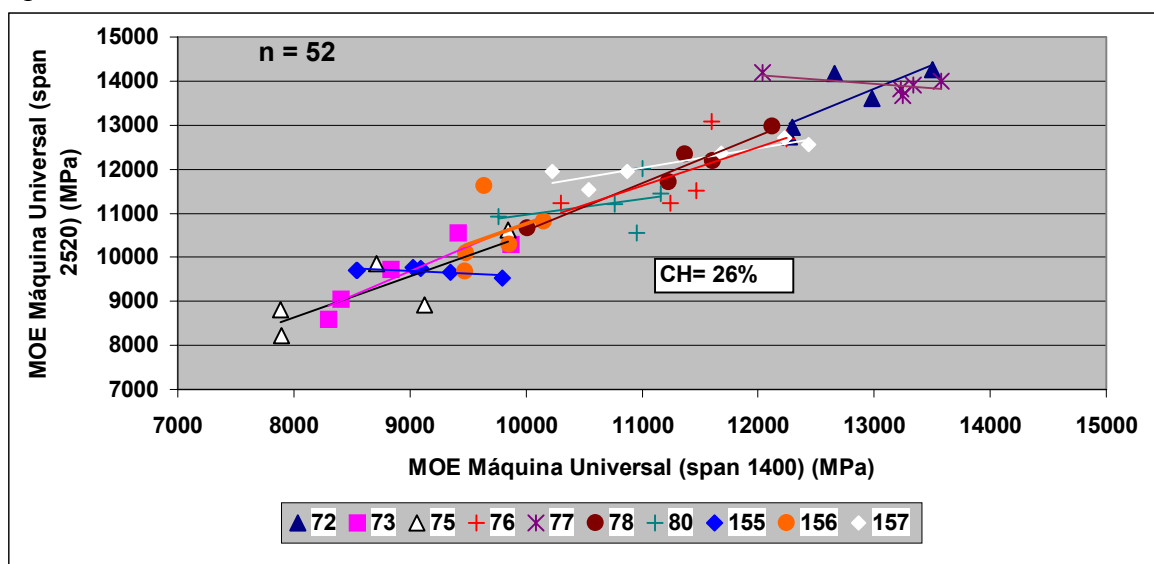
Gráfica N°11: MOR según clasificación de tablas por ubicación en trozas y defectos visuales.

En la Gráfica N°11, se puede observar la variación del MOR según la clasificación por ubicación de las tablas en la troza y por defectos visuales. En este caso ocurre algo muy similar a lo analizado en la Gráfica N°10, donde las tablas “C” presentan un valor promedio de MOR mayor y un coeficiente de variación menor que las tablas “B-B” y principalmente que las tablas “B-A”. Estas últimas, además de estar cerca de la médula (madera juvenil), presentaron defectos que sin duda afectaron el valor de MOR obtenido.

Mediante la Prueba t para dos muestras se encontraron diferencias significativas entre las tablas “B-A” y las otras dos categorías de tablas. Esto demuestra como la presencia de defectos en las tablas provoca una disminución de la resistencia a la flexión, o sea un menor valor de MOR.

3.2.4. Variación del MOE entre los diferentes árboles muestreados.

Un punto importante de este estudio es poder observar la variación entre los diferentes árboles muestreados. En la Gráfica N°12, se puede observar como varía el MOE (a un contenido de humedad de 26%) entre los árboles. Algunos árboles presentan valores muy superiores a otros. Por ejemplo, los árboles 77 y 72 presentaron valores de MOE siempre superiores a los presentados por los árboles 75 y 155 entre otros. Esto es una importante observación a tener en cuenta para el caso que se desee realizar mejoramiento genético de árboles por sus propiedades mecánicas.



Gráfica N°12: Correlación entre el MOE calculado con Máquina Universal con dos spans diferentes (1400 y 2520 mm). Diferenciación por N° de árbol.

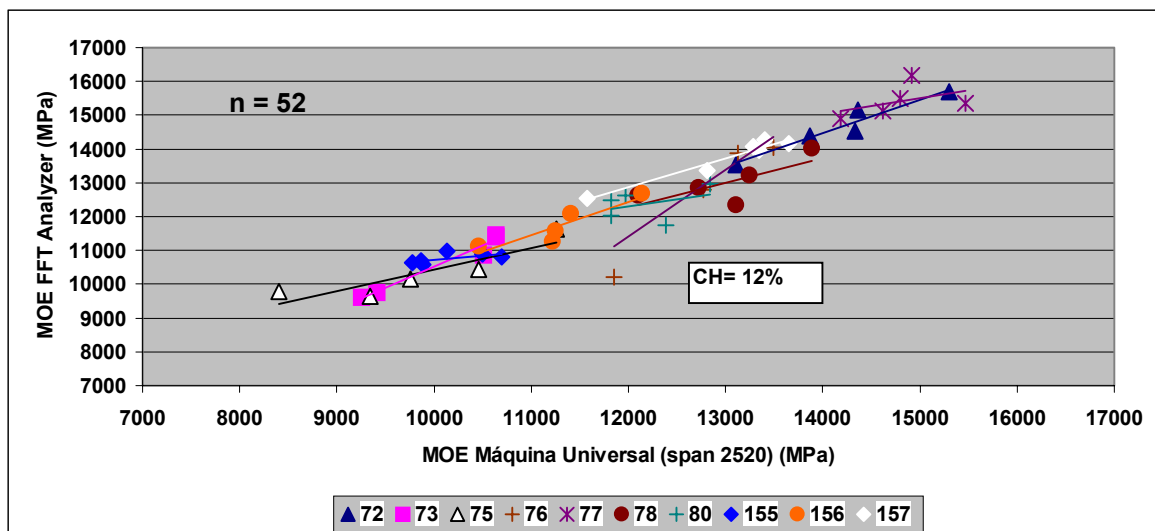
Por otra parte, en la Tabla N°8, se muestran los valores de MOE obtenidos de las tablas de cada árbol por separado

Tabla N°8: Diferenciación por árboles de los resultados obtenidos de MOE (MPa).

	<i>MOE: VALORES DE MÁQUINA UNIVERSAL (SPAN 1400) CH= 26%</i>									
	Clase DAP 44-50 cm				Clase DAP 50-56 cm			Clase DAP 56-62 cm		
ARBOL N°	75	76	77	78	73	80	156	72	155	157
MEDIA	8600	11400	13100	11300	8900	10700	9700	12700	9100	11300
MAX	9800	12200	13600	12100	9900	11200	10200	13500	9800	12400
MIN	7800	10300	12000	10000	8200	9800	9500	12300	8500	10200
STD	740	630	540	700	630	500	260	460	440	840
CV (%)	8,6	5,5	4,1	6,2	7,1	4,7	2,6	3,6	4,9	7,4
n	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6
	<i>MOE: VALORES DE MÁQUINA UNIVERSAL (SPAN 2520) CH=26%</i>									
MEDIA	9300	11900	13900	12000	9600	11200	10500	13500	9700	12200
MAX	10600	13100	14200	13000	10600	12000	11600	14200	9800	12700
MIN	8200	11200	13700	10700	8600	10600	9700	12700	9500	11500
STD	850	780	170	770	740	490	670	620	80	410
CV (%)	9,2	6,5	1,2	6,4	7,6	4,4	6,3	4,6	0,81	3,3

Con respecto también a la Gráfica N°12 y la Tabla N°8, se realizó la Prueba t para dos muestras (con un 95% de confianza). Las medias se compararon entre sí (recordar que es la

media del MOE de las tablas obtenidas de cada árbol) Encontrándose para la mayoría de los casos diferencias significativas entre los diferentes árboles.



Gráfica N°13: Correlación entre el MOE calculado con Máquina Universal (span 2520 mm) y FFT Analyzer. Diferenciación por N° de árbol.

La Gráfica N°13, es muy similar a la Gráfica N°12. En este caso, el MOE fue obtenido con el FFT Analyzer y la Máquina Universal con un contenido de humedad del 12%. Los resultados obtenidos demuestran también las importantes diferencias encontradas entre los diferentes árboles muestreados.

En la Tabla N°9, se ven los valores promedio de las tablas de cada árbol. En este caso también se realizó la Prueba t para dos muestras obteniéndose diferencias significativas (con un 95% de confianza) en la mayoría de los casos.

Tabla N°9: Diferenciación por árboles de los resultados obtenidos de MOE (MPa).

ARBOL N°	<i>MOE: VALORES DE FFT ANALYZER CH= 12%</i>									
	Clase DAP 44-50 cm				Clase DAP 50-56 cm			Clase DAP 56-62 cm		
	75	76	77	78	73	80	156	72	155	157
MEDIA	10300	12700	15400	13000	10600	12400	11700	14700	10800	13700
MAX	11600	14100	16200	14000	11500	13000	12700	15700	11000	14300
MIN	9700	10200	14900	12300	9600	11800	11100	13500	10600	12600
STD	700	1380	430	580	790	430	570	740	140	600
CV (%)	6,8	11	2,8	4,4	7,5	3,5	4,9	5,0	1,3	4,4
n	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6
	<i>MOE: VALORES DE MÁQUINA UNIVERSAL (SPAN 2520) CH=12%</i>									
MEDIA	9800	12700	15400	13000	10100	12200	11300	14200	10100	13000
MAX	11300	13500	16200	13900	10600	13000	12100	15300	10700	13600
MIN	8400	11900	14900	12100	9300	11800	10500	13100	9800	11600
STD	970	620	430	590	620	390	540	720	340	690
CV (%)	9,9	4,9	2,8	4,6	6,1	3,2	4,8	5,0	3,4	5,3

No se encontró ningún tipo de relación entre la velocidad de crecimiento de los árboles (clase diamétrica) y el MOE. A modo de ejemplo, los árboles 77 y 72 están entre los que presentan mayores valores de MOE, pero si observamos su clasificación diamétrica encontramos al

árbol 77 en la clase menor y al árbol 72 en la clase mayor. Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas entre las medias de MOE de los árboles de las distintas clases.

3.2.5. Defectos de tablas que afectan el MOR.

A-1) Nudos.



A-2) Nudos.



B) Bolsa de kino.



C) Pudrición cercana a médula



D) Corazón esponjoso.



E) Compresión por esfuerzo.



3.3. RESULTADOS DE LAS PROBETAS PEQUEÑAS LIBRES DE DEFECTOS.

La necesidad de clasificar la madera de diferentes especies forestales evaluando las propiedades físicas y mecánicas sobre pequeñas probetas libres de defectos siempre ha existido. Debido a la gran variabilidad entre especies, variabilidad del material, diversos factores que afectan los resultados de los ensayos y el continuo cambio de las condiciones de mercado, esta necesidad seguirá existiendo (Annual Book of ASTM Standards 2000; 2000). Por otra parte, una de las formas de establecer las propiedades mecánicas de las maderas a través de la clasificación visual, es realizando una modificación apropiada de los resultados de ensayos de pequeñas probetas libres de defectos (Wood Handbook; USDA, 1987). Como se dijo anteriormente, de las tablas ensayadas se cortaron probetas pequeñas libres de defectos. A continuación se presentarán los resultados de las diferentes propiedades mecánicas estudiadas.

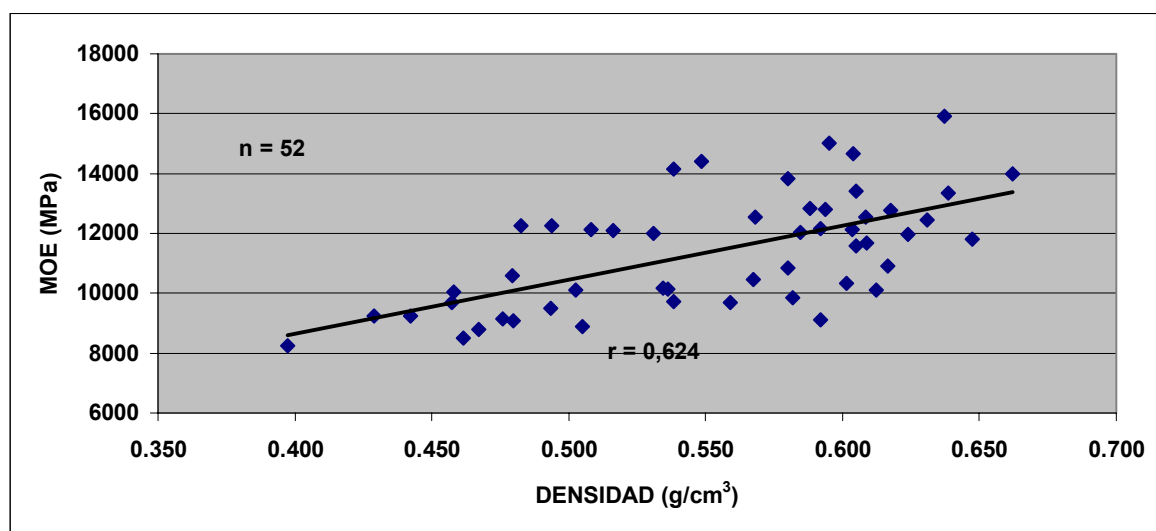
3.3.1. Flexión estática.

En la Tabla N°10, se observan los resultados de los ensayos de flexión estática.

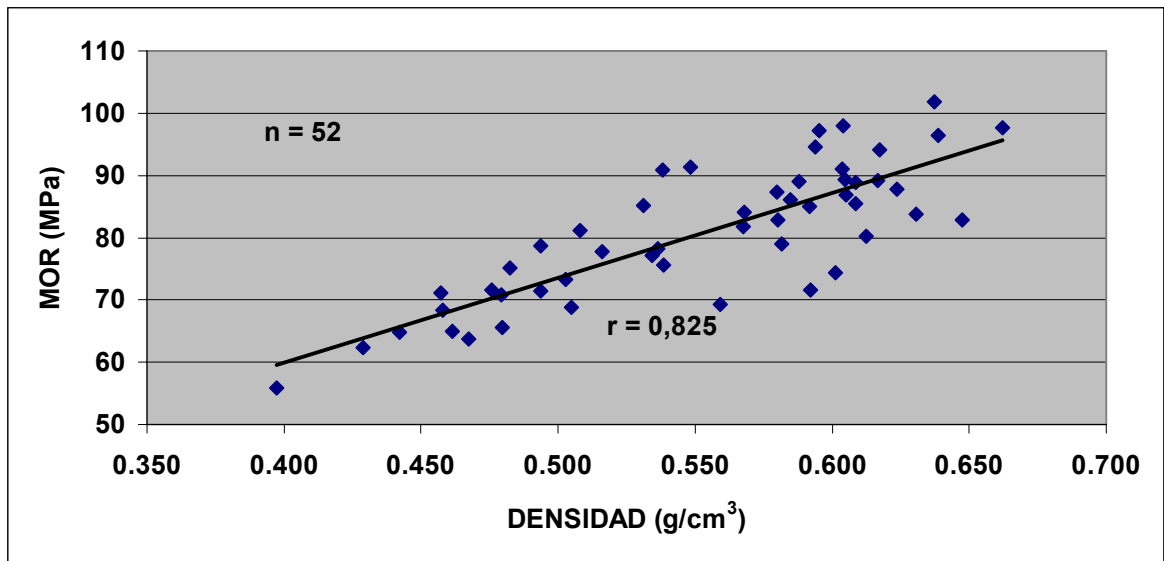
Tabla N°10: Resultados del ensayo de flexión estática.

	Flexión estática	Flexión estática
	MOR (MPa)	MOE (MPa)
n	52	52
MEDIA	80,0	11300
MAX	101,9	15900
MIN	42,4	8200
STD	11,8	1900
CV (%)	14,8	16,9

En la Gráfica N°14, se correlaciona el MOE obtenido en el ensayo de flexión estática con la densidad, mientras que en la Gráfica N°15 se correlaciona el MOR con la densidad.

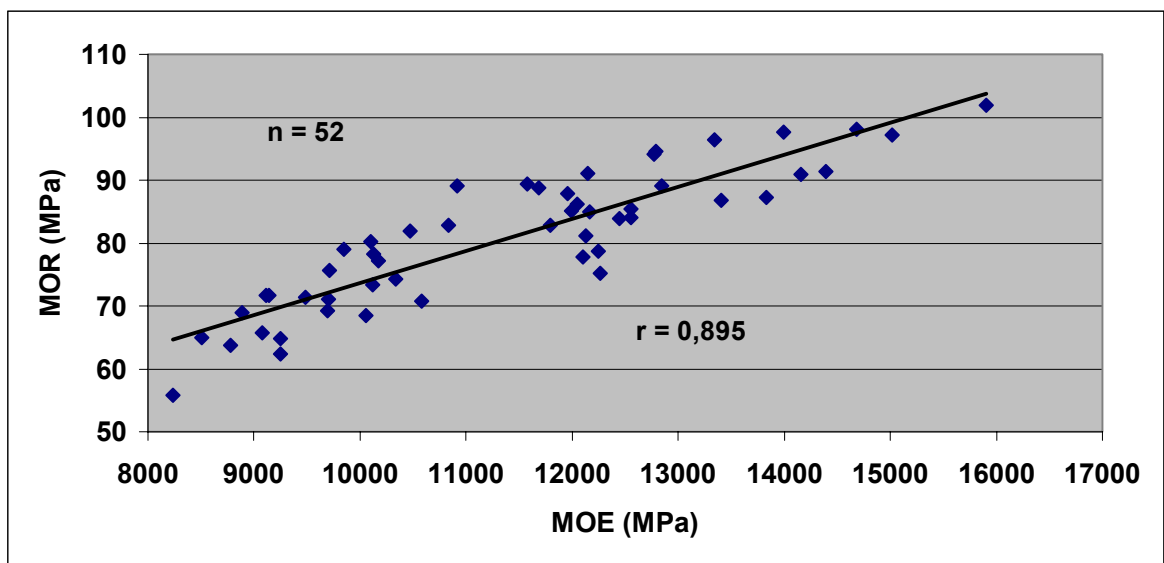


Gráfica N°14: Correlación entre densidad y MOE en probetas de flexión estática.



Gráfica N°15: Correlación entre densidad y MOR en probetas de flexión estática.

En la Gráfica N°16, se observa la correlación entre el MOE y el MOR para las probetas de flexión estática. Como era de esperar, en estas probetas la correlación dio mayor que en las tablas. Esto se debe a que al ser probetas libres de defectos, los valores de MOR obtenidos no se ven afectados por éstos.



Gráfica N°16: Correlación entre MOE y MOR en probetas de flexión estática.

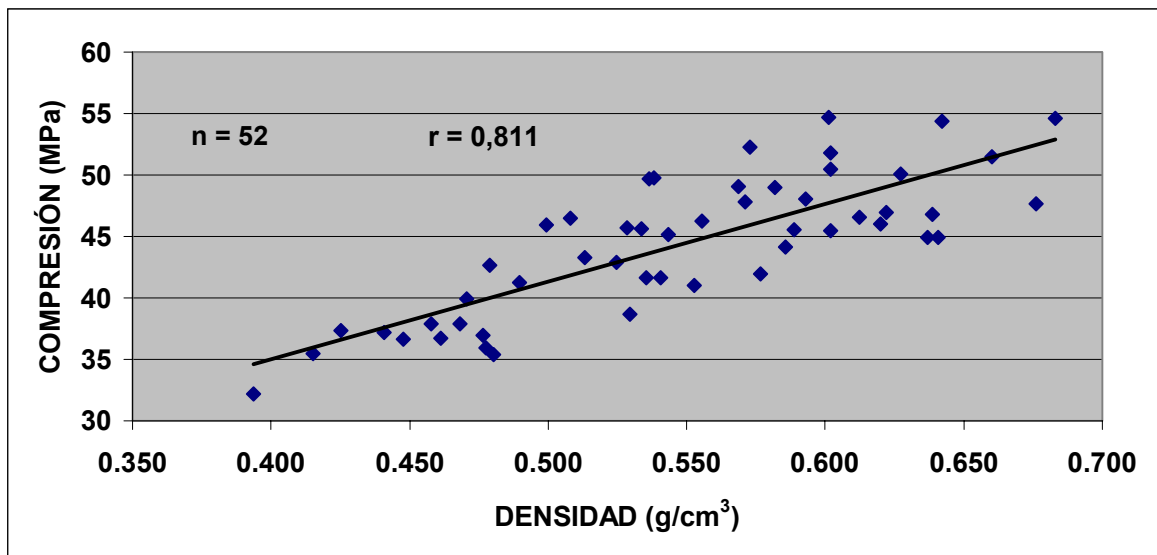
3.3.2. Compresión paralela a las fibras.

En la Tabla N°11, se observan los resultados de los ensayos de compresión paralela a las fibras.

Tabla N°11: Resultados del ensayo de compresión.

	Resistencia a la compresión (MPa)
n	52
MEDIA	44,5
MAX	54,7
MIN	32,2
STD	5,5
CV (%)	12,4

La compresión paralela a las fibras también fue correlacionada con la densidad. Como se observa en la Gráfica N°17, esta correlación es alta y positiva.



Gráfica N°17: Correlación entre densidad y MOR en probetas de compresión.

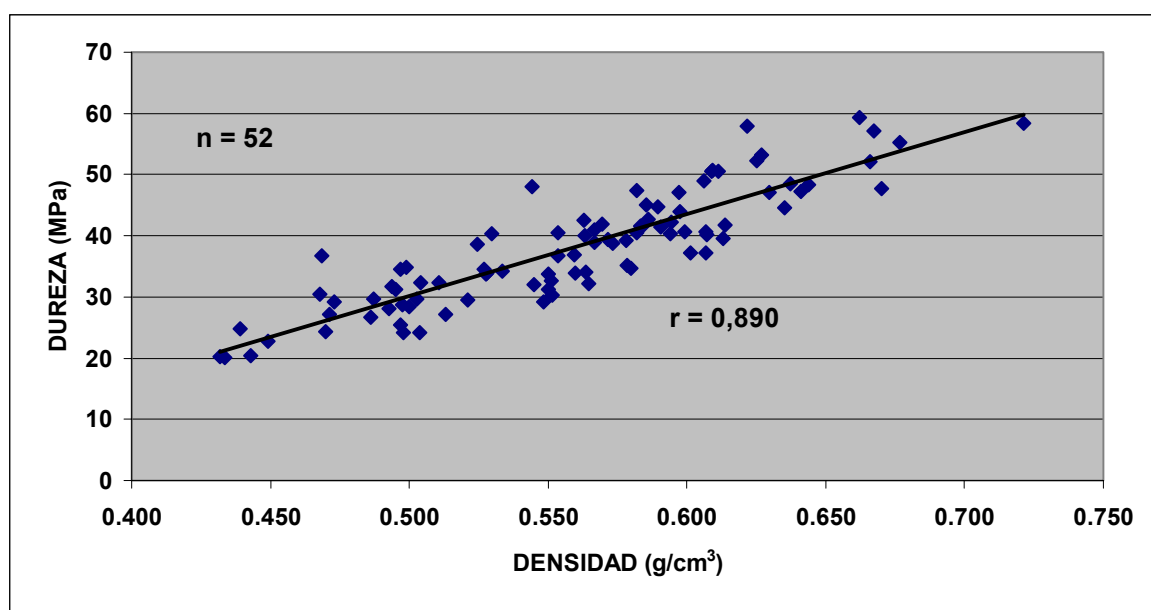
3.3.3. Dureza Janka.

En la Tabla N°12, se observan los resultados de los ensayos de dureza Janka.

Tabla N°12: Resultados del ensayo de dureza Janka.

	Dureza Janka (MPa)
n	93
MEDIA	38,1
MAX	59,4
MIN	20,2
STD	9,2
CV (%)	24,3

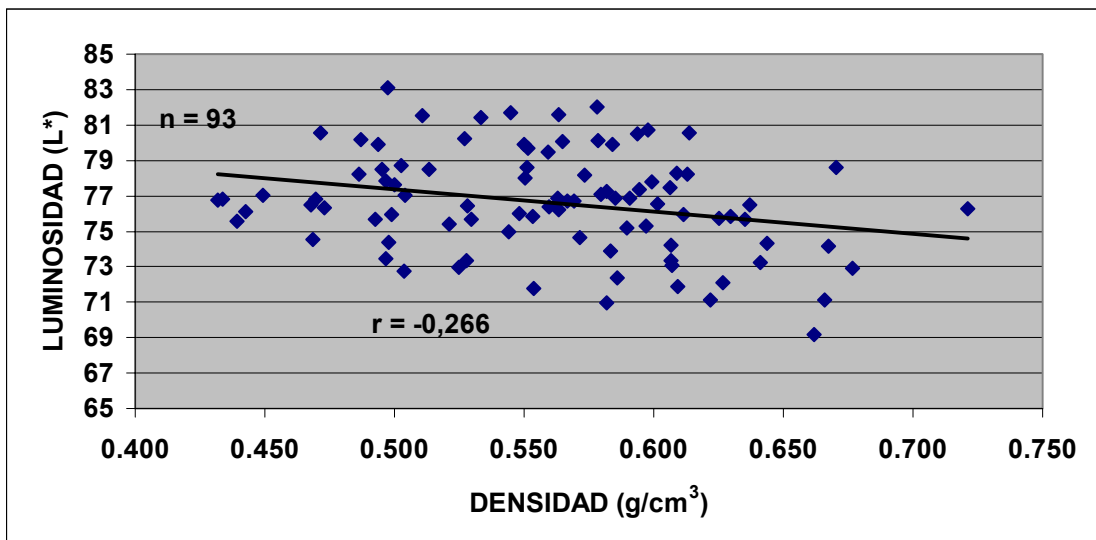
El coeficiente de correlación entre densidad y dureza Janka (Gráfica N°18) también presentó un valor alto y positivo. Esto nos demuestra la importancia de la densidad como índice de calidad de la madera, ya que todas las propiedades mecánicas estudiadas presentan altas correlaciones con ésta.



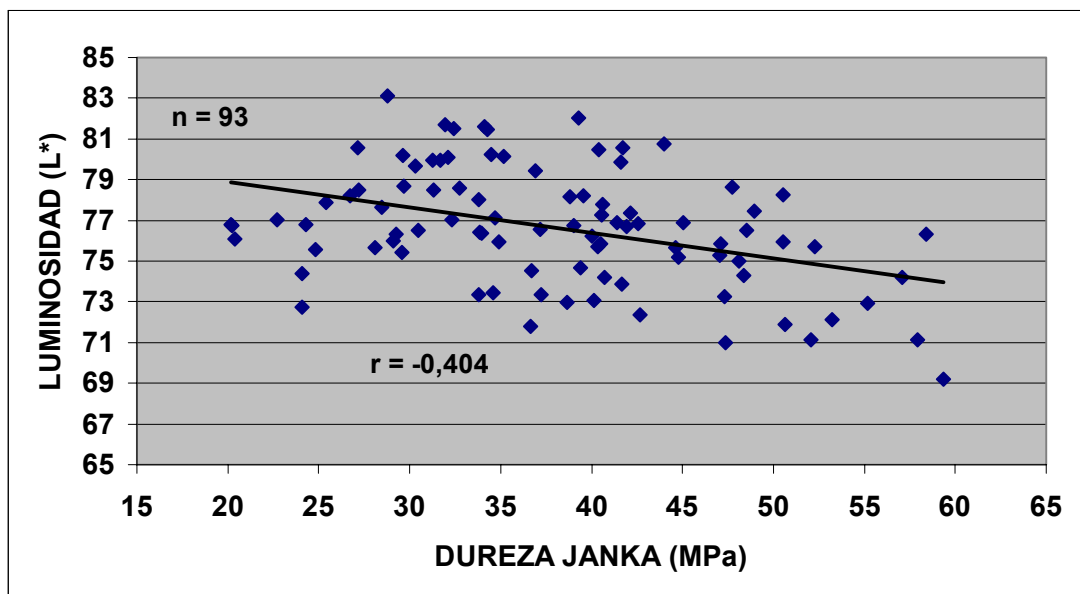
Gráfica N°18: Correlación entre densidad y dureza Janka.

3.3.4. Resultados de medición de color.

Los resultados obtenidos de las mediciones de color se pueden observar en la Gráfica N°19 donde la luminosidad (L^*) se correlaciona con la densidad y en la Gráfica N°20 donde se correlaciona con la dureza Janka. En ambas gráficas se encontraron coeficientes de correlación bajos. A pesar de esto, se puede decir que mediante un estudio de residuales se observó que por más que la dispersión de los puntos es grande, el modelo se ajusta adecuadamente.



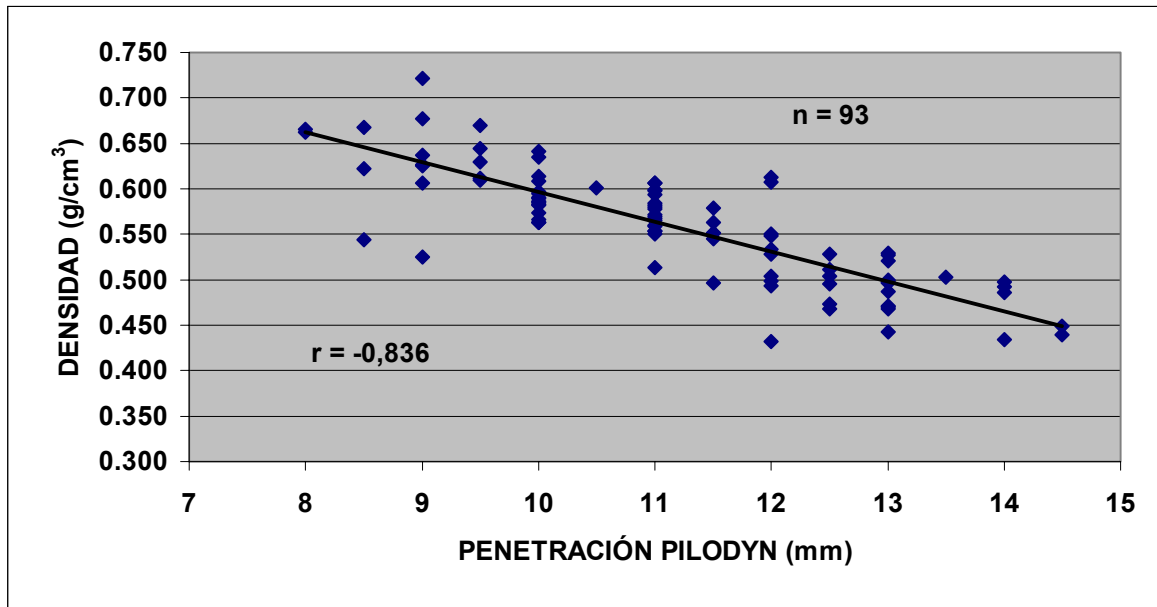
Gráfica N°19: Correlación entre densidad y luminosidad.



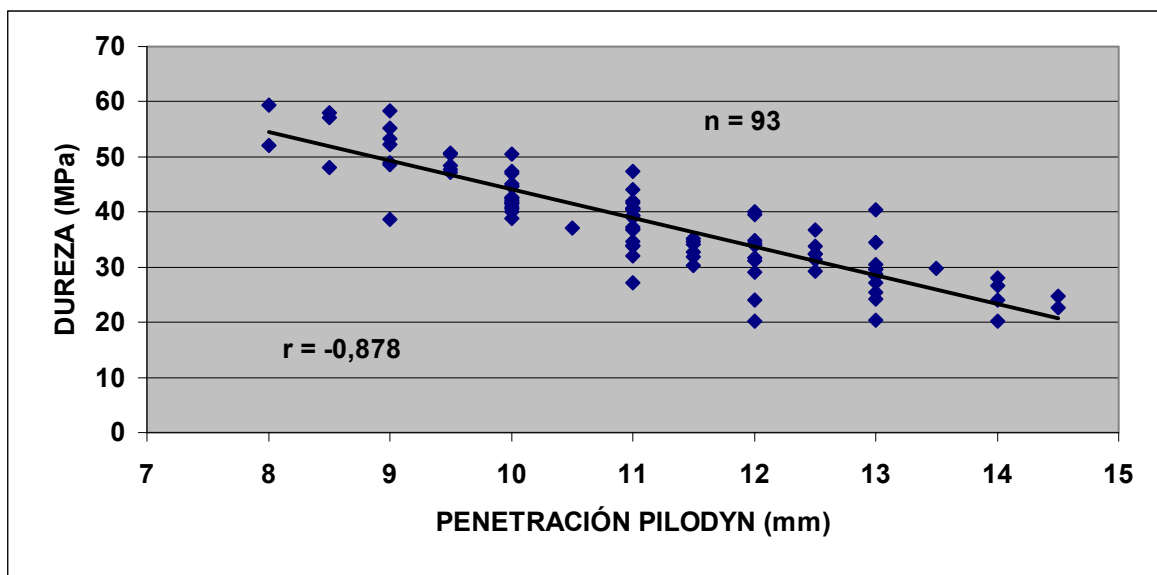
Gráfica N°20: Correlación entre dureza Janka y luminosidad.

3.3.5. Resultados obtenidos con el Pilodyn.

Sería muy riesgoso y apresurado afirmar que el Pilodyn es útil como método para estimar otras propiedades físicas o mecánicas. Sin embargo en este estudio, este instrumento mostró una interesante correlación con las propiedades estudiadas, principalmente la dureza Janka y la densidad. En las Gráficas N°21 y 22 se observan dichas correlaciones.



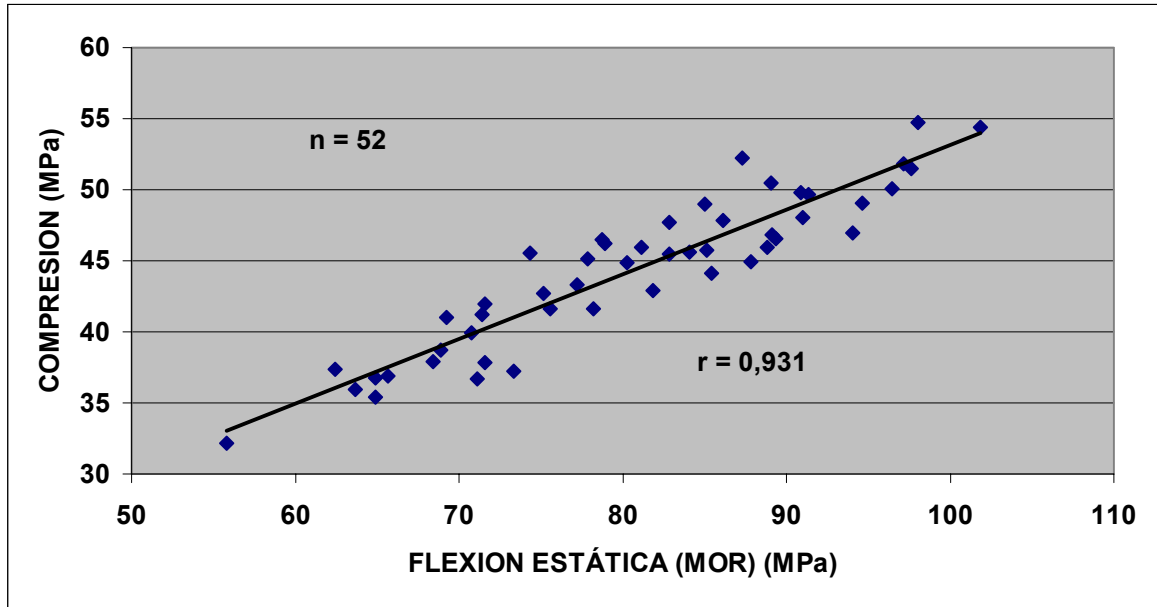
Gráfica N°21: Correlación entre penetración con Pilodyn y densidad.



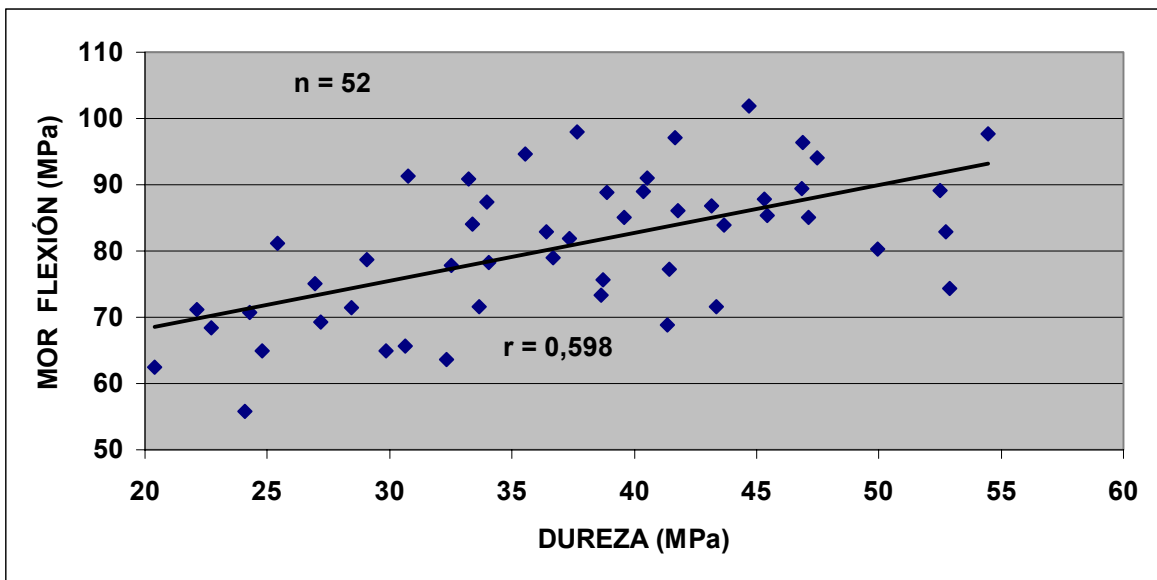
Gráfica N°22: Correlación entre penetración con Pilodyn y dureza Janka.

3.3.6. Correlación entre diferentes propiedades mecánicas en pequeñas probetas.

En este capítulo, y a modo de ejemplo, se analizan algunas de las correlaciones encontradas entre las propiedades mecánicas estudiadas. En las Gráficas N°23 y 24 se observan dichas correlaciones.



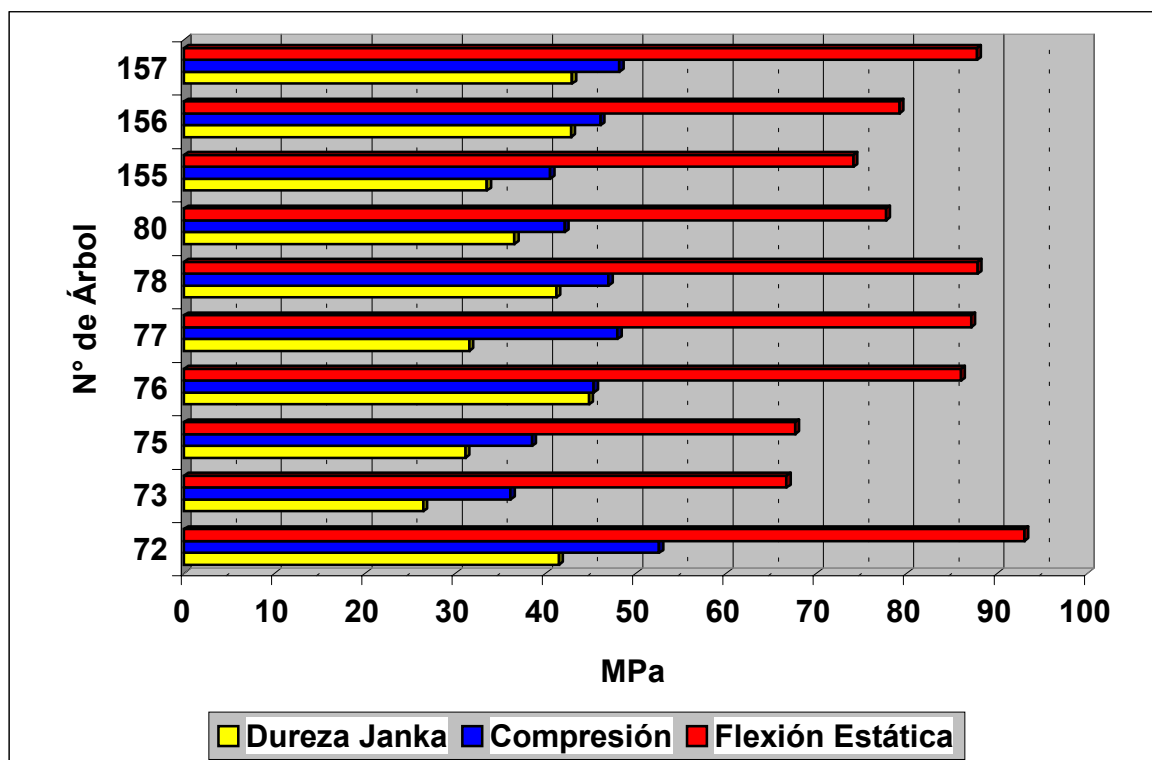
Gráfica N°23: Correlación entre flexión estática y compresión.



Gráfica N°24: Correlación entre dureza Janka y flexión estática.

3.3.7. Variación de las propiedades mecánicas de probetas pequeñas entre árboles.

A continuación se analizará la variación a la resistencia de la flexión estática (MOR), la dureza Janka y la resistencia máxima a la compresión paralela de las probetas pequeñas libres de defectos entre los 10 árboles plus estudiados. En la Gráfica N°25, se ilustra dicha variación.



Gráfica N°25: Variación entre árboles de las propiedades mecánicas en pequeñas probetas .

A modo de ejemplo, se observa que para el árbol 72 se obtuvo un valor de flexión estática (MOR) y de compresión superior al resto de los árboles. Dicho árbol es uno de los que presentó mayor valor de dureza Janka y de MOE (en tablas). Estas observaciones son importantes para el caso que se desee realizar mejoramiento genético por propiedades mecánicas.

Mediante la Prueba t para dos muestras, se observaron diferencias significativas entre la mayoría de los casos analizados. Por ejemplo, comparando los valores medios de dureza Janka, compresión paralela a las fibras y flexión estática entre los árboles 72 y 73, para las tres propiedades estudiadas se encontraron diferencias significativas (con un 95% de confianza).

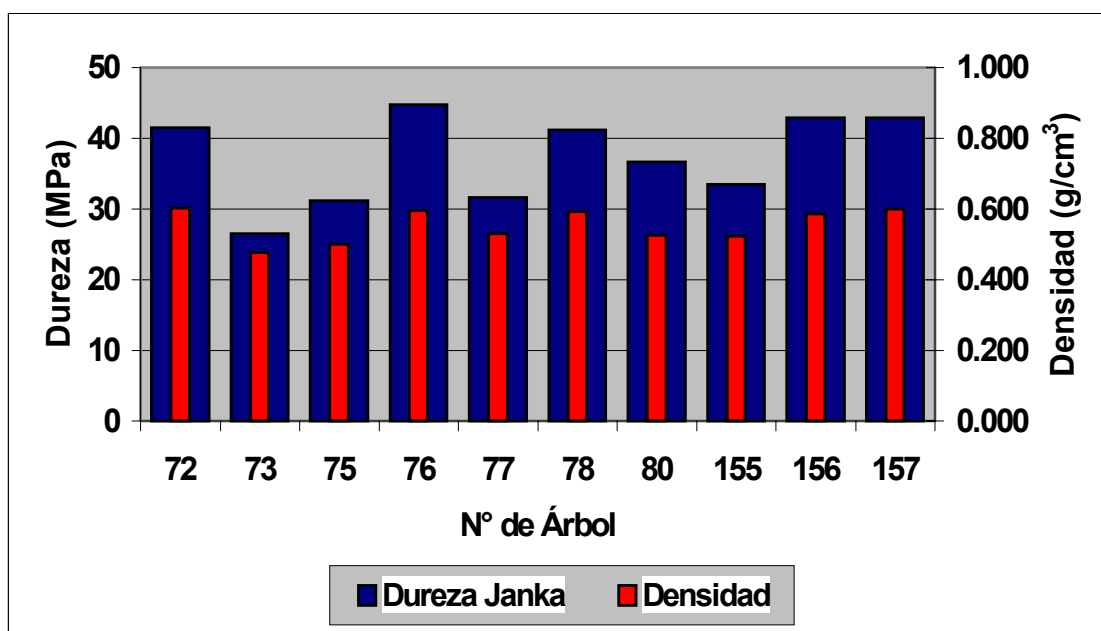
No se encontró ninguna relación entre los resultados de las distintas propiedades mecánicas y la velocidad de crecimiento (clase diamétrica) de los distintos árboles.

En la Tabla N°13, se pueden leer los valores promedio obtenidos de las probetas analizadas de cada uno de los diez árboles.

Tabla N°13: Resultados de las propiedades mecánicas por árbol.

	N° de Árbol	Dureza Janka (MPa)	Resistencia a la compresión (MPa)	Flexión estática (MOR)(MPa)
Clase Diamétrica 44-55 cm	75	31	39	68
	76	45	45	86
	77	32	48	87
	78	41	47	88
Promedio		37	45	82
Clase Diamétrica 50-56 cm	73	26	36	67
	80	37	42	78
	156	43	46	79
Promedio		35	41	75
Clase Diamétrica 56-62 cm	72	41	53	93
	155	34	41	74
	157	43	48	88
Promedio		39	47	85

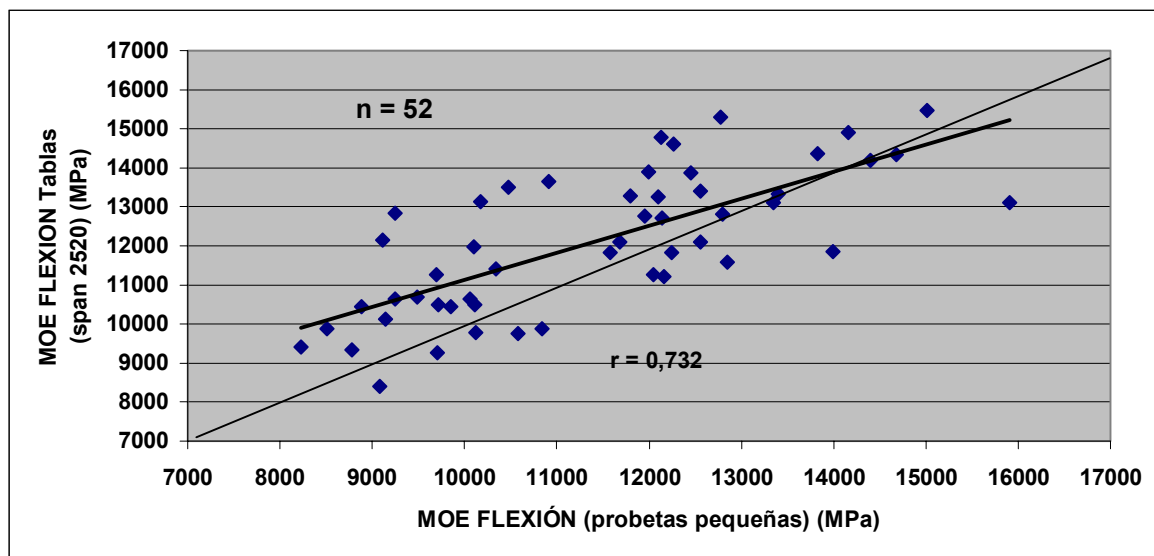
Por otra parte, en la Gráfica N°26 se observa la relación que se encontró entre la dureza Janka y la densidad. A modo de ejemplo, el árbol 157 presenta un valor alto de dureza Janka y un valor alto de densidad. A su vez, el MOE obtenido de las tablas de este árbol fue uno de los superiores entre los 10 árboles ensayados.



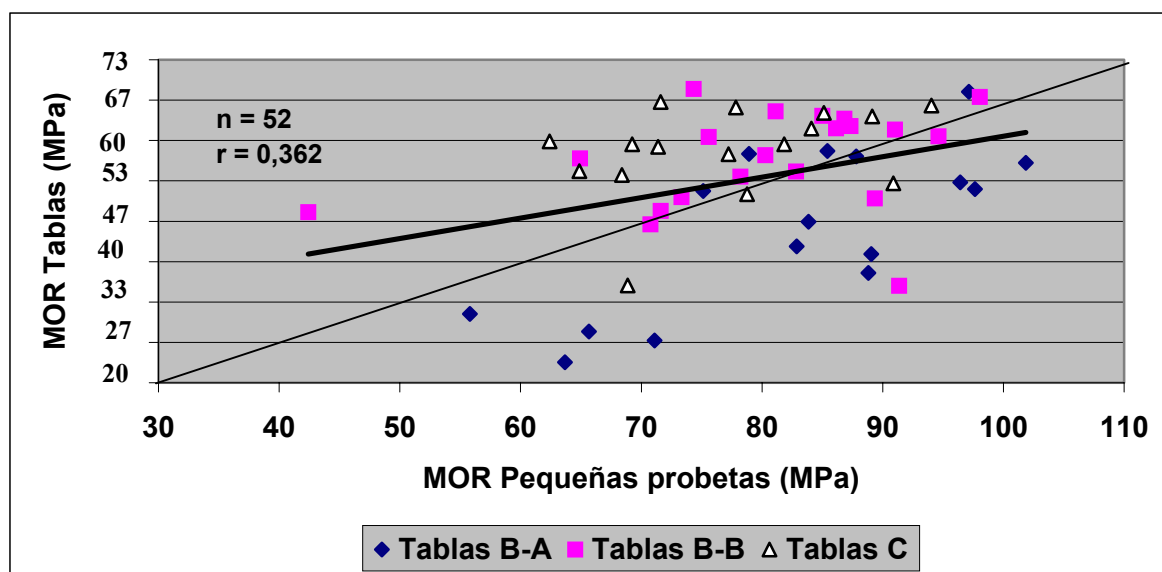
Gráfica N°26: Relación entre dureza Janka y densidad.

3.4. CORRELACIONES ENTRE TABLAS Y PEQUEÑAS PROBETAS.

En las Gráfica N°27, se correlaciona el MOE obtenido en el ensayo de flexión estática de pequeñas probetas libres de defectos, con el MOE de las tablas obtenido en el ensayo de flexión estática (span 2520 mm).



Gráfica N°27: Correlación entre el MOE de pequeñas probetas y el MOE de tablas (Máquina universal).



Gráfica N°28: Correlación entre el MOR calculado en pequeñas probetas y el MOR de las tablas (ensayo de flexión estática).

Como era de esperar, el índice de correlación calculado entre el MOE de tablas y el MOE de las probetas (Gráfica N°27) es muy superior al encontrado cuando se correlacionó el MOR (Gráfica N°28). Esto se debe principalmente a la existencia de defectos en las tablas, que afectan el valor de MOR obtenido.

En la Gráfica N° 28, se puede ver como las tablas con defectos (Tablas “B-A”) presentaron, en la mayoría de los casos, valores de MOR inferiores a las probetas extraídas de éstas. Lo contrario ocurrió con las Tablas “C”

4. CLASIFICACIÓN DE *E. GRANDIS* BASADA EN EL MOE SEGÚN NORMAS JAS.

Con las tablas ensayadas de cada árbol, se obtuvo un MOE (MPa) promedio para cada árbol. Posteriormente, los 10 árboles fueron clasificados según las normas JAS (Japan Agricultural Standard) para madera estructural. Los resultados se observan en la Tabla N°14.

Tabla N° 14: Clasificación de los Árboles (promedio de las tablas) según normas JAS.

Clasificación por JAS	MOE (10³kgf/cm²)	MOE (MPa)	N° de Árbol
E 70	60-80	5880-7850	--
E 90	80-100	7850-9810	--
E 110	100-120	9810-11770	75,73,155,156
E 130	120-140	11770-13730	80,76,78,157
E 150	140-160	13730-15690	72,77

La variación del MOE dentro de cada árbol no fue muy importante, ya que generalmente las tablas de un mismo árbol se ubicaron dentro de una misma categoría. Sin embargo, sí se encontraron diferencias importantes entre árboles, clasificándose estos en tres categorías diferentes (E110, E130 y E150).

En esta clasificación tampoco se encontró ninguna relación con la velocidad de crecimiento de los individuos.

5. CONCLUSIONES.

- 1) El FFT Analyzer (Vibración Longitudinal) se presentó como el método no-destructivo más apropiado para la estimación del MOE, ya que presenta alta reproducibilidad, es simple y no requiere poner en contacto con la madera ni clavos ni sensores. La media del MOE obtenida con el FFT Analyzer en las tablas a 12% de humedad es estadísticamente igual al obtenido con la Máquina Universal (span 2520 mm).
- 2) Todos los métodos no-destructivos para el cálculo del MOE que fueron comparados con el resultado obtenido con la Máquina Universal (span 2520 mm), presentaron coeficientes de correlación altos y positivos.
- 3) La densidad, índice de fácil medición, presentó altas correlaciones con el resto de las propiedades mecánicas estudiadas, tanto en tablas como en las probetas libres de defectos.
- 4) Como era de esperar, el efecto de la madera juvenil en los valores de MOE obtenidos en *Eucalyptus grandis* (latifoliada) no fue tan importante como en el caso de *Pinus taeda* (ver Perez Favaro, A.; 2000). Igualmente se observaron diferencias entre las tablas “B” y las tablas “C”.
- 5) En la clasificación de las tablas por ubicación en la troza y por defectos visuales, sí se encontraron diferencias significativas entre los valores de MOE de las tablas “B-A” (cerca de médula y con defectos) y las tablas “C”.
- 6) Se observó un aumento del MOE de las tablas del orden del 5% cuando las tablas pasaron de un contenido de humedad promedio de 26% a un 12%.
- 7) La correlación entre el MOR y el MOE en las tablas fue inferior a la esperada, esto se debió seguramente a que la existencia de defectos en las tablas hacen variar mucho los valores de MOR y no así los valores de MOE. Es por esto que en las probetas libres de defectos el coeficiente de correlación entre MOR y MOE fue muy superior.
- 8) Los valores obtenidos con el Pilodyn presentaron altos coeficientes de correlación cuando se correlacionaron con los valores obtenidos de densidad y dureza Janka. Esto es importante ya que el Pilodyn es un equipo de manejo simple y que se puede utilizar fácilmente en árboles en pie o en trozas en estado verde.
- 9) El hecho de que se observaran diferencias importantes entre árboles, demuestra que es posible aumentar la calidad de la madera de *Eucalyptus grandis* mediante mejoramiento genético seleccionando por propiedades físicas o mecánicas.
- 10) Los resultados del ensayo de color no mostraron una correlación alta con la densidad y la dureza Janka. Igualmente este tema se deberá seguir investigando con mayor profundidad en el futuro.
- 11) En la clasificación por valores de MOE según normas JAS de las tablas ensayadas, se observó que estas abarcaban tres categorías diferentes (E110, E130 y E150). En la mayoría de los casos, todas las tablas de un mismo árbol se ubicaron dentro de una misma categoría.
- 12) En los resultados de los ensayos realizados sobre tablas y sobre pequeñas probetas quedó demostrado que existe una gran variación entre árboles y poca variación dentro de árboles. Esto también se observa analizando la clasificación por valores de MOE según normas JAS.
- 13) Se debe tener en cuenta, que en este estudio solamente se estudiaron diez árboles provenientes de un monte de Rivera, por lo que este tipo de estudios se deberán seguir realizando y se deberá acumular más información de las plantaciones de *Eucalyptus grandis* cultivados en el Uruguay.

6. BIBLIOGRAFÍA.

1. Agriculture Handbook 72; *Wood Handbook*, Wood as an engineering material, USDA, 1999.
2. Annual Book of ASTM Standards 2000. Volume 04-10, Wood. American Society for Testing and Materials, 2000: 708 p.
3. CORONEL, E./ Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas, Universidad Nacional de Santiago del Estero, 1994: 187 p.
4. KOLLMANN, F.; COTÉ, W. / Principles of Wood Science and Technology. State University of New York, 1968: 299-311.
5. KOMATSU, K. / Strength characteristics of sugi wood as a structural material. Proceedings of the symposium for promoting sugi wood as a structural material. *Timber Research Group Meeting*, Japan Wood Research Society, 1998: 9-20.
6. NAKAI, T.; TANAKA, T. / Non-destructive test by frequency of full-size timber for grading, *Building Research and Practice*. 1989, 17 (1).
7. NAGAO, H.; NAKAI, T.; TANAKA, T. / Non destructive evaluation of bending and tensile strength by longitudinal and transverse vibration of lumber, *Eighth International Nondestructive Testing of Wood Symposium, Proceedings*, Washington State Univ. and USDA Forest Products Lab., 1991: 23-25.
8. OHTA, S.; WATANABE, H. / Mechanical properties of juvenile wood in the stem of Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*), *Japan wood Research Society*, 1968, 14 (5).
9. 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 LATU, 2000: 24 p.
10. TUSET, R.; DURÁN, F./ Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización, 1986. Editorial hemisferio Sur. 688 p.
11. URUGUAY. ALTERNATIVAS PARA LA TRANSFORMACIÓN INDUSTRIAL DEL RECURSO FORESTAL; Unidad de desarrollo sostenible y medio ambiente, Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, 1996, 168 p.