

COMPORTAMIENTO EN FLEXIÓN DE *E. GRANDIS*, *P. TAEDA* Y *P. ELLIOTTII* DE MADERA DE TAMAÑO REAL Y DE PEQUEÑAS PROBETAS SIN DEFECTOS.

PROPIEDADES MECÁNICAS – PRODUCTOS FORESTALES - LATU

Per. Agr. Hugo O'Neill - honeill@latu.org.uy

Tec. Agr. Felipe Tarigo - ftarigo@latu.org.uy

Esta publicación tiene por objeto difundir el conocimiento del comportamiento mecánico de las maderas nacionales, profundizando en la caracterización de las especies forestadas para la obtención de madera de buena calidad. Mostraremos resultados de investigaciones realizadas en el sector Productos Forestales (LATU) sobre muestreos de *E. grandis* del norte, de *P. elliotii* y *P. taeda* del litoral del Uruguay.

Se realizaron ensayos mecánicos destructivos para la determinación del Módulo de Elasticidad (MOE) y el Módulo de Rotura (MOR) sobre tablas de tamaño real y en pequeñas probetas libres de defectos.

Se mostrarán resultados de muestreos de *E. grandis* de 12 años del departamento de Rivera, de *P. elliotii* y *P. taeda* de 24 años del departamento de Río Negro. En los tres muestreos se seleccionaron treinta árboles de cada especie, fueron analizadas sus propiedades en tres tablas (de cada árbol) aserradas el ancho del radio, de la médula a la corteza y de tres alturas (3 trozas de 4 m) hasta una altura de 12 m.

Se tuvieron en cuenta en los pinos aquellas tablas que contenían médula, aunque las consideramos no aptas para el uso estructural. En el caso del *E. grandis* directamente en el aserrado se descartó la médula y se denominaron a las tablas que se obtuvieron cercanas a la médula "BA", a las que se encontraban en una zona intermedia entre la médula y la corteza "B" y las próximas a la corteza "C". Para *P. taeda* y *P. elliotii* se obtuvieron tablas que incluían médula las cuales se denominaron "A" y al igual que el eucalipto las tablas de la zona intermedia "B" y las tablas próximas a la corteza "C".

1. Ensayo de Flexión Estática, para la determinación del Módulo de Elasticidad y el Módulo de Rotura en tablas de tamaño real.

Las tablas de tamaño real (50 mm x 150 mm x 2800 mm) fueron sometidas a un esfuerzo de flexión estática de 4 puntos, con una separación entre apoyos inferiores (span) de 2520 mm y que recibieron un esfuerzo en 2 puntos separados 840 mm entre sí. El equipo utilizado fue una máquina universal Minebea de 250 kN de capacidad (Ver figura N° 1).

Se utilizó la norma ASTM "American Society for Testing and Materials" D 198-98 Standard Test Methods of Static Test Lumber in Structural Sizes – Flexure.

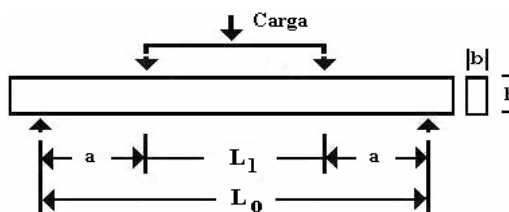


Figura N° 1: Esquema de ensayo de flexión estática 4 puntos en máquina universal.

2. Ensayo de Flexión Estática, para la determinación del Módulo de Elasticidad y el Módulo de Rotura en pequeñas probetas libres de defectos.

El ensayo de flexión estática se realizó sobre pequeñas probetas libres de defectos (25 mm x 25 mm x 400 mm) en la Máquina universal Minebea, utilizando una celda de carga de 50 kN de capacidad, con una distancia de apoyos inferiores (span) de 350 mm, ejerciendo la carga en la cara radial y en el centro de la probeta. (Ver figura N° 2).

Para este ensayo se utilizó la norma JIS (Japan Industrial Standard) Z 2101 – 1994 (JIS Z 2113 - 63) "Method of Bending Test for Wood".

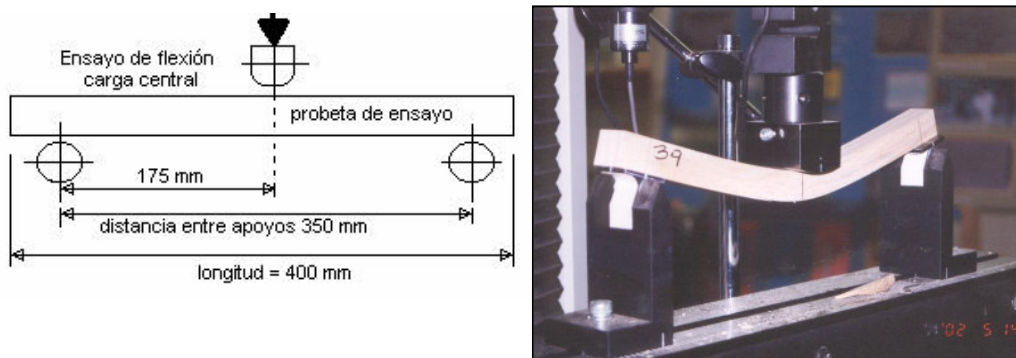


Figura N° 2: Esquema y ensayo de flexión estática en 3 puntos en máquina universal.

3. Resultados de MOE y MOR en ensayo de flexión de tablas tamaño real.

En el siguiente cuadro N° 1 vemos los valores promedio de MOE y de MOR para cada una de las especies estudiadas, dichos valores fueron obtenidos de tres tablas (A/BA-B-C) aserradas en el ancho de la troza y en tres alturas hasta 12 m.

Cuadro N° 1: Resumen de las propiedades mecánicas en tablas de tamaño real

	<i>Eucalyptus grandis</i>		<i>Pinus taeda</i>		<i>Pinus elliottii</i>	
	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
Número	242	242	265	265	245	245
Promedio	11442	51,2	7910	36,0	6796	35,6
STD	1657	13,7	2028	16,2	1844	16,1

4. Resultados de MOE y MOR en ensayo de flexión de probetas libres de defectos.

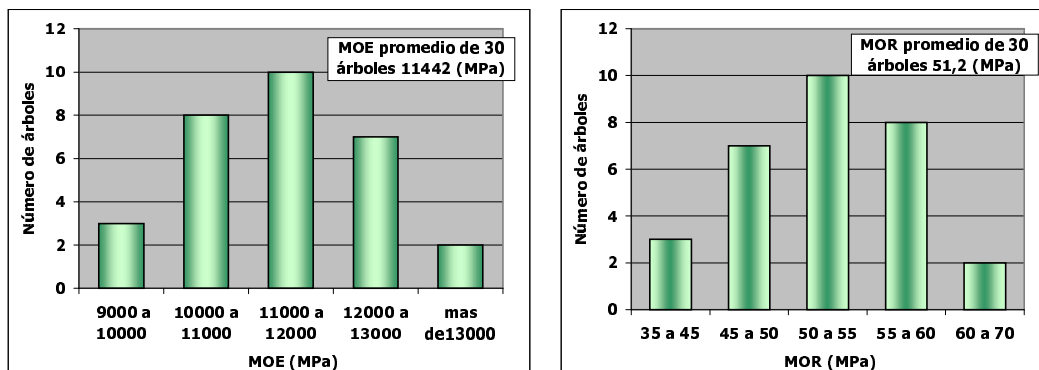
En el cuadro N° 2 vemos los valores promedios de pequeñas probetas libres de defectos, obtenidas de las tablas analizadas anteriormente, se ensayaron menor cantidad de probetas libres de defectos que de tablas de tamaño real.

Cuadro N° 2: Resumen de las propiedades mecánicas en pequeñas probetas

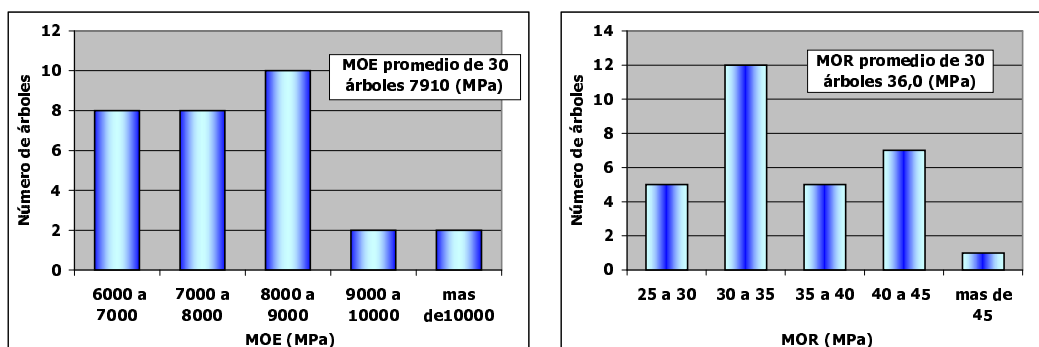
	<i>Eucalyptus grandis</i>		<i>Pinus taeda</i>		<i>Pinus elliottii</i>	
	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
Número	203	203	211	211	196	196
Promedio	11766	83,2	8190	73,0	6732	63,2
STD	1414	10,2	2065	13,7	1815	13,1

5. Variación del MOE y MOR entre árboles.

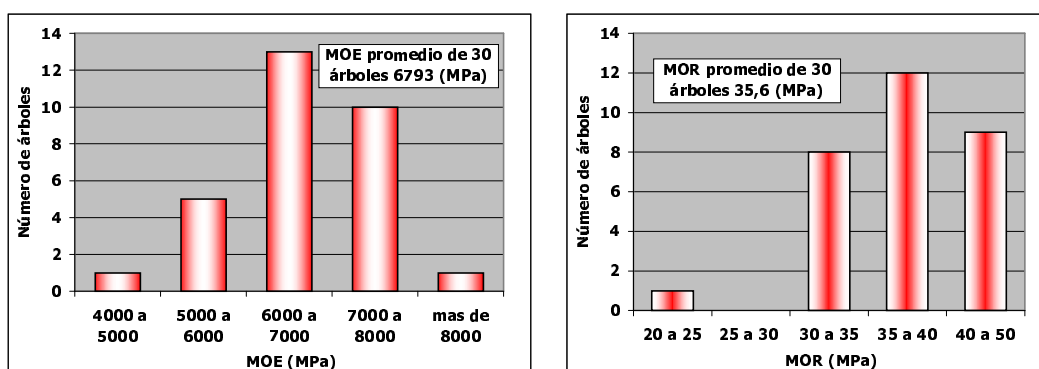
A continuación analizaremos la variación del MOE y el MOR entre árboles, para las tres especies estudiadas, teniendo en cuenta el valor promedio de la totalidad de las tablas obtenidas en las tres alturas de cada uno de los árboles, incluyendo para los pinos las tablas (A-B-C) y para *E. grandis* tablas (BA-B-C). (Gráficas Nros. 1 a 6).



Gráficos N° 1 y 2: Variación del MOE y el MOR entre árboles, especie *E. grandis*



Gráficos N° 3 y 4: Variación del MOE y el MOR entre árboles, especie *P. taeda*



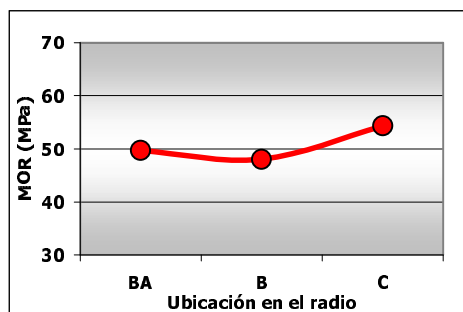
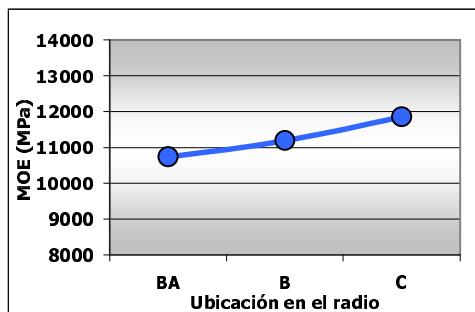
Gráficos N° 5 y 6: Variación del MOE y el MOR entre árboles, especie *P. elliottii*

6. Variación del MOE y MOR en el radio.

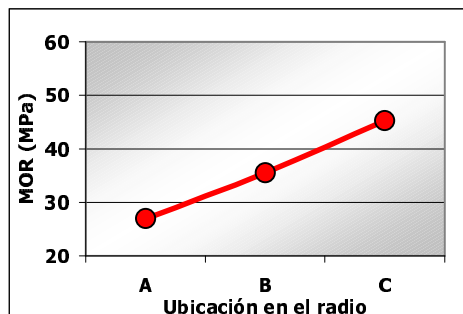
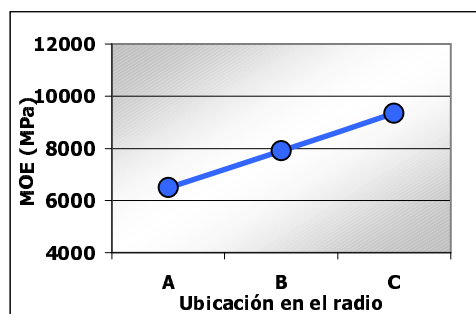
Veremos la variación de los valores promedio de MOE y MOR en el radio de los árboles analizados. Si bien para las tres especies la tendencia es similar, a medida que nos alejamos de la médula aumentan los valores de resistencia mecánica tanto del MOE como el MOR, vemos que en el caso del eucalipto no es tan significativo ese aumento, si es significativo para los pinos. (Ver cuadro N° 3) y (Gráficas Nros. 7 a 12).

Cuadro N° 3: Variación del MOE y el MOR según la ubicación en el radio.

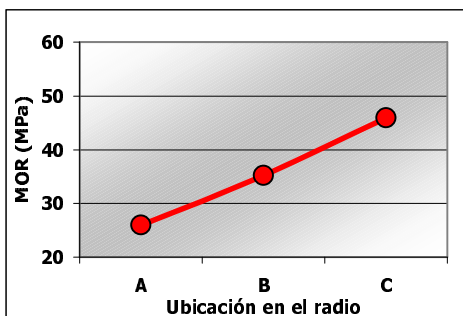
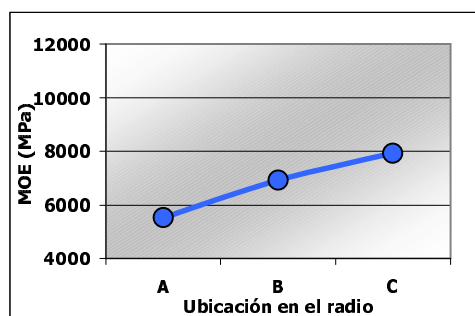
	<i>Eucalyptus grandis</i>		<i>Pinus taeda</i>		<i>Pinus elliottii</i>	
Radio	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
BA - A	10734	49,7	6495	27,0	5530	25,9
B	11194	48,0	7898	35,5	6923	35,2
C	11845	54,3	9346	45,3	7931	45,9



Gráficos N° 7 y 8: Variación del MOE y el MOR en la ubicación en el radio, especie *E. grandis*



Gráficos N° 9 y 10: Variación del MOE y el MOR en la ubicación en el radio, especie *P. taeda*



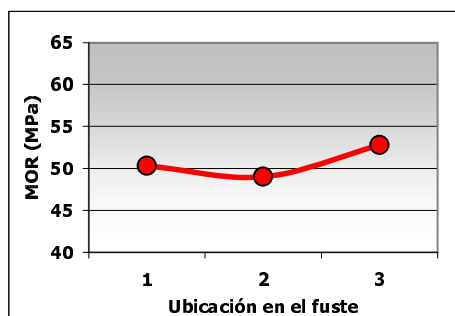
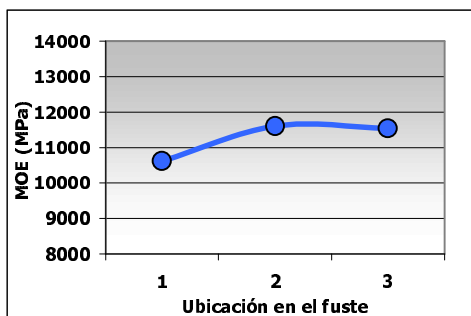
Gráficos N° 11 y 12: Variación del MOE y el MOR en la ubicación en el radio, especie *P. elliottii*

7. Variación del MOE y MOR en la altura del fuste.

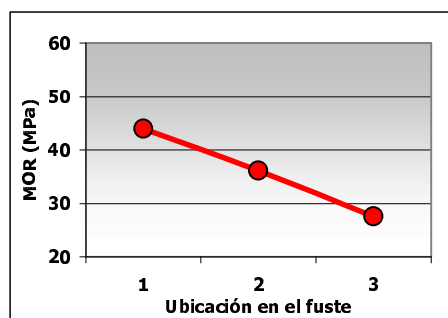
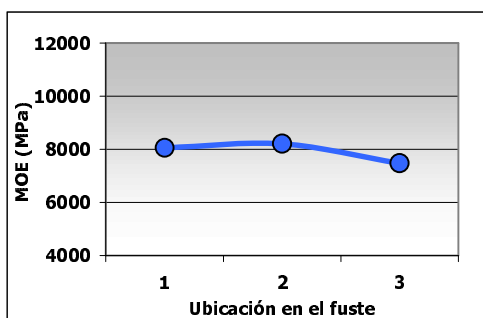
Seguidamente mostraremos la variación del MOE y el MOR entre las tres alturas analizadas, hasta 12 m de altura (Gráficas Nros. 13 a 18). Para *E. grandis* vemos que en las tablas de la segunda y tercer troza se constatan los mayores valores promedio de MOE, no existiendo gran variación entre estos dos, para *P. taeda* el mayor valor promedio se observa en las tablas de la segunda troza, y para *P. elliottii* en las tablas de la primer troza. En cuanto al MOR para *E. grandis* el valor promedio mayor es para las tablas de la tercer troza, no existiendo tampoco gran variación entre los valores de las tres alturas, en los pinos los valores promedios de las tablas descienden a medida que subimos en la altura del fuste (Ver Cuadro N° 4).

Cuadro N° 4: Variación del MOE y el MOR según la ubicación en la altura.

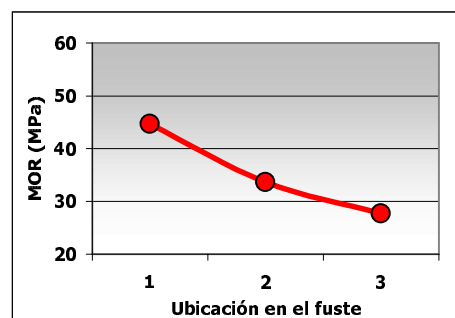
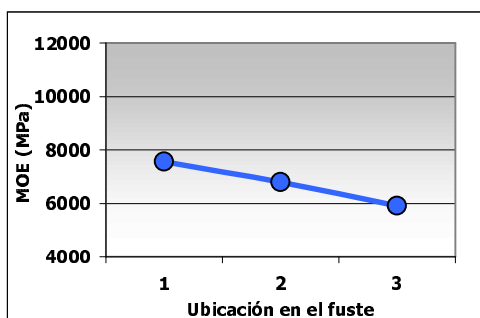
Altura	<i>Eucalyptus grandis</i>		<i>Pinus taeda</i>		<i>Pinus elliottii</i>	
	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
1	10619	50,3	8060	44,0	7564	44,7
2	11609	49,0	8207	36,1	6793	33,1
3	11545	52,8	7472	27,6	5917	27,7



Gráficos N° 13 y 14: Variación del MOE y el MOR en la altura del fuste, especie *E. grandis*



Gráficos N° 15 y 16: Variación del MOE y el MOR en la altura del fuste, especie *P. taeda*



Gráficos N° 17 y 18: Variación del MOE y el MOR en la altura del fuste, especie *P. elliottii*

8. Conclusiones.

- Existe variación en los valores promedio de MOE y MOR entre árboles en las tres especies estudiadas en este trabajo.

- La obtención de árboles con mayor proporción de madera adulta (mayor edad de turno final) nos permitirá aumentar los volúmenes de madera apta para el uso estructural. Vimos que a medida de que nos alejamos de la médula (madera juvenil) aumentan los valores de resistencia, siendo sensiblemente mayores en las tablas próximas a la corteza (madera adulta).

En los pinos podemos concluir que la influencia de la gran proporción de madera juvenil es determinante en los valores de resistencia, de la médula a la corteza se observó un aumento de un 40 % en los valores de MOE y un 70 % en los valores de MOR. En cuanto al *eucalyptus grandis* la influencia de madera juvenil es menor, existe un aumento pero es del orden de 10 % para el MOE y 9 % para el MOR.

- Existe también variación en las propiedades mecánicas en la altura del fuste del árbol, a medida que ascendemos los valores tienden a bajar, en el *E. grandis* el MOR fue más alto en la tercer troza, a diferencia de los pinos que el valor fue significativamente mas bajo en la última troza.

- Surge de este trabajo también como conclusión que para dos especies de pinos con la misma edad, el mismo suelo y el mismo manejo, existen diferencias en el comportamiento mecánico de sus maderas, el *P. taeda* presenta valores promedios mayores que los de *P. elliotii*, en el MOE es un 17 % mayor y en el MOR un 13 %.

- Destacamos la importancia de una poda adecuada de nuestras plantaciones para la obtención de madera apta para el uso estructural. Esto queda de manifiesto si comparamos los valores de MOE y MOR de las tablas de tamaño real y los valores de las pequeñas probetas libres de defectos. En las tres especies existe diferencia en los valores de MOE y una diferencia muy significativa en los valores de MOR, los valores promedio de las probetas libres de defectos son superiores a los de las tablas de tamaño real en *E. grandis* un 60 %, en *P. taeda* un 100 % y en *P. elliotii* un 70 %.