



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

ESTUDIO DE LA VARIACIÓN EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS
DE *EUCALYPTUS GRANDIS* (HILL) EX MAIDEN DEL URUGUAY.

por

Elsa OLASO MARI

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.

FACULTAD DE AGRONOMÍA



MONTEVIDEO
URUGUAY
2002

Tesis aprobada por:

Director:

Dr. Sadaaki Ohta (LATU)
Nombre completo y firma

Ing. Agr. Carlos Manteco
Nombre completo y firma

Ing. Quím. Raúl de Castro (LATU)
Nombre completo y firma

Ing. Agr. Luis Soria
Nombre completo y firma

Fecha:

12.11.02

Autor:

Elsa Olaso Mari
Nombre completo y firma

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Sadaaki Ohta por su entusiasmo, su dedicación y su apoyo diario en la realización de este trabajo. Un ejemplo a recordar.

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

A los Ing. Agr. Carlos Mantero y Luis Soria por su aporte.

Al Ing. Agr. Jorge Franco quien colaboró en el análisis de los datos.

Al Téc. Francisco Gatto y al Sr. Dilvar Silva responsables de la preparación de las probetas utilizadas en los ensayos.

Al Ing. Agr. Carlos Trambauer y al Per. Agr. Hugo O'Neill quienes participaron directamente en la realización de los ensayos de propiedades mecánicas.

Al Ing. Agr. Alvaro Pérez del Castillo por su aporte.

Al Tec. Agr. Felipe Tarigo, al Sr. Luciano Benites, Sr. Javier Doldán y a la Ing. Quím. Silvia Bothig por su colaboración y apoyo.

A todo el equipo técnico del Sector Productos Forestales del LATU.

A la empresa COFUSA, especialmente al Ing. Agr. Alberto Fossati, al Sr. Sebasatión Ferrés al Ing. Agr. Nelson Ledesma y al Sr. Marcos De Oliveira.

Al Ing. Agr. Andrés Dieste por contribuir al trabajo.

Al Ing. Agr. José. P. García de León por sus comentarios.

Al Sr. Juan Ignacio Chouhy, autor de la Figura N°1.

A mi familia y amigos por apoyarme en todo momento.

TABLA DE CONTENIDOS

	Página
PAGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRAFICA</u>	2
2.1. ANTECEDENTES.....	2
2.1.1. <u>Trabajos del exterior</u>	2
2.1.2. <u>Trabajos nacionales</u>	5
2.2 REVISION BIBLIOGRAFICA.....	7
2.2.1. <u>Crecimiento y calidad de la madera</u>	7
2.2.2. <u>Contenido de humedad</u>	7
2.2.3. <u>Porcentaje de duramen</u>	7
2.2.4. <u>Densidad e Infradensidad</u>	8
2.2.5. <u>Características anatómicas</u>	8
2.2.5.1. <u>Largo y ancho de fibra</u>	8
2.2.5.2. <u>Diámetro de los vasos</u>	10
2.2.6. <u>Penetración por Pilodyn</u>	10
2.2.7. <u>Propiedades mecánicas</u>	11
3. <u>MATERIALES Y METODOS</u>	12
3.1. MATERIALES.....	12
3.1.1. <u>Caracterización de la madera utilizada</u>	12
3.1.2. <u>Características de las muestras</u>	12
3.1.3. <u>Datos del muestreo realizado en Rivera</u>	14
3.1.2.2. <u>Datos de los 6 árboles seleccionados</u>	14
3.2. <u>METODOS</u>	15
3.2.1. <u>Clasificación visual de las trozas</u>	15
3.2.2. <u>Contenido de Humedad</u>	16
3.2.3. <u>Densidad</u>	19
3.2.3.1. <u>Densidad básica.(Densidad _{ab})</u>	19
A. Método Hidrostático.....	19
3.2.3.1.B. Método de Máximo Contenido de Humedad o Infradensidad.....	20
3.2.3.2. <u>Densidad corriente</u>	20
3.2.4. <u>Porcentaje de duramen</u>	21
3.2.5. <u>Características anatómicas</u>	23
3.2.5.1. <u>Fibras de la madera</u>	23

3.2.5.1.A. Largo de fibra.....	23
3.2.5.2.B. Ancho de fibra.....	24
3.2.5.2. Diámetro de los vasos.....	24
3.2.6. Penetración por Pilodyn.....	26
3.2.7. Propiedades mecánicas.....	27
3.2.7.1. Flexión estática.....	28
3.2.7.1.A. Flexión estática en pequeñas probetas libres de defectos.....	28
3.2.7.2. B. Ensayos mecánicos en tablas.....	28
3.2.7.2. Flexión dinámica.....	30
3.3. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO.....	31
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1. CRECIMIENTO Y CLASIFICACIÓN VISUAL DE LAS TROZAS PROVENIENTES DEL DEPARTAMENTO DE RIVERA.....	32
4.2. CONTENIDO DE HUMEDAD.....	33
4.2.1. Variación del contenido de humedad en el árbol.....	33
4.2.1.1. Variación en el radio.....	33
4.2.1.2. Variación en la altura.....	38
4.2.2. Relación entre el contenido de humedad y la velocidad de crecimiento.....	40
4.2.3. Patrones de contenido de humedad.....	41
4.3. PORCENTAJE DE DURÁMEN.....	42
4.3.1. Variación en el árbol.....	42
4.3.2. Relación entre el porcentaje de durámen y la velocidad de crecimiento.....	43
4.4. DENSIDAD APARENTE BÁSICA.....	44
4.4.1. Variación en el radio.....	44
4.4.2. Variación en la altura.....	45
4.4.3. Relación entre la densidad _{ab} y la velocidad de crecimiento.....	46
4.4.4. Comparación de los resultados obtenidos según los 2 métodos utilizados para el cálculo de la densidad _{ab}	48
4.5. ESTUDIOS ANATÓMICOS.....	49
4.5.1. Largo de fibra.....	49
4.5.1.1. Variación en el radio.....	51
4.5.1.2. Variación en la altura.....	53
4.5.1.3. Largo de fibra y crecimiento en diámetro.....	54
4.5.1.4. Comparación del largo de fibra en 2 sitios.....	54
4.5.2. Ancho de fibra.....	55
4.5.2.1. Variación en el radio.....	55
4.5.2.2. Variación en la altura.....	56
4.5.2.3. Diferencias de sitio.....	57
4.5.3. Diámetro de los vasos.....	58

4.6. ENSAYO DE PENETRACIÓN MEDIANTE EL USO DEL PILODYN.....	59
4.6.1. <u>Correlación entre la penetración pilodyn en estado verde y seco</u>	59
4.6.2. <u>Relación entre la Densidad_{ab} y la penetración por Pilodyn</u>	61
4.6.3. <u>Variación en el radio y en la altura</u>	62
4.6.3.1. Variación en la altura.....	62
4.6.3.2. Variación en el radio.....	62
4.7. PROPIEDADES MECÁNICAS.....	64
4.7.1. <u>Flexión estática</u>	64
4.7.1.1. Flexión estática en pequeñas probetas libres de defectos.....	64
A) Variación en la altura.....	67
B) Variabilidad entre árboles.....	67
4.7.1.2. Ensayos mecánicos en tablas.....	69
4.7.2. <u>Flexión dinámica</u>	70
4.7.2.1. Variación en la altura.....	70
4.7.2.2. Correlación entre la flexión dinámica y la densidad.....	71
4.7.2.3. Correlación entre la flexión dinámica en estado verde y seco.....	71
5. <u>APLICACIÓN PRACTICA Y RECOMENDACIONES</u>	72
5.1. VELOCIDAD DE CRECIMIENTO.....	72
5.2. INDICADORES DE CALIDAD.....	72
5.3. OTRAS PROPIEDADES DE LA MADERA.....	73
5.4. RECOMENDACIONES.....	74
6. <u>CONCLUSIONES</u>	75
7. <u>RESUMEN</u>	77
SUMMARY.....	78
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	79

LISTA DE CUADRO E ILUSTRACIONES

Cuadro N°	Página
1. Trabajos científicos extranjeros publicados en la base de datos CAB hasta diciembre del 2001.....	2
2. Trabajos nacionales realizados sobre la madera del género <i>Eucalyptus</i>	6
3. Porcentaje de duramen para <i>E.globulus spp.maidenii</i> y <i>E.viminalis</i> de distintas localidades.....	7
4. Largo de fibra a 3 alturas distintas de <i>E.badjensis</i> y <i>E.dunnii</i>	10
5. Ancho de fibra a 3 alturas distintas de <i>E.badjensis</i> y <i>E.dunnii</i>	10
6. Diámetro radial y tangencial de diferentes especies de porosidad difusa.....	10
7. Información del muestreo de 30 árboles provenientes de Rivera.....	14
8. Información de los 6 árboles seleccionados.....	14
9. Categoría asignada a cada troza de 4m de largo por árbol.....	15
10. Propiedades, instrumentos utilizados para efectuar las mediciones y precisión de las medidas.....	30
11. Contenido de humedad (%) promedio para la albura y el duramen en las 4 alturas.....	38
12. Contenido de humedad (%) según la ubicación en el radio y en la altura del árbol.....	39
13. Porcentaje de duramen hasta los 11m de altura por árbol y agrupado según clase de DAP.....	43
14. Densidad _{ab} según tipo de madera.....	45
15. Densidad _{ab} promedio para las 4 alturas.....	45
16. Largo de fibra según tipo de madera.....	52

17. Largo de fibra según la clase de diámetro.....	54
18. Información del largo de fibra (mm) en Rivera y en Paysandú.....	54
19. Ancho de fibra (micras) en Rivera y Paysandú.....	57
20. Correlación entre la densidad y la penetración de las probetas por Pilodyn en estado verde según el número de probetas analizadas.....	60
21. Correlación entre la densidad y la penetración en estado verde y en condición seca.....	61
22. Variación longitudinal de la penetración por pilodyn en condición verde y seco.....	62
23. Ensayos realizados de MOE y MOR a partir de Rivera y Paysandú.....	64
24. Datos de flexión dinámica (J/cm^2) para el departamento de Rivera y de Paysandú.....	70

Figura N°

1. Detalle sobre el muestreo realizado en 6 árboles del departamento de Rivera.....	13
2. Probetas para realizar los ensayos de humedad y densidad.....	17
3. Probetas utilizadas para calcular el contenido de humedad en las alturas N°1, 2 y 3.....	18
4. Probetas utilizadas para calcular el contenido de humedad en la altura N°4.....	18
5. Balanza e implemento utilizado para obtener el peso de la probeta sumergido.....	20
6. Uno de los métodos utilizados para obtener el valor de % de duramen.....	22
7. Disco a partir del cual se obtuvieron las probetas para los ensayos de humedad, densidad, pilodyn y largo y ancho de fibra.....	23
8. Probetas para calcular el largo de fibra en las trozas basales (altura N°1).....	24

9. Vista del mirotomo utilizado en la preparación de las muestras.....	25
10. Corte anatómico transversal. Se pueden ver las 2 mediciones efectuadas para medir el diámetro de los vasos.....	26
11. Probetas utilizadas para realizar los ensayos de pilodyn.....	27
12. Ensayo de flexión estática con pesas.....	29

1. INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo fue realizado con el cometido de cumplir la instancia curricular, como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo.

Según datos presentados por la FAO (2001) a nivel mundial, se espera que para el año 2010, la oferta de madera de latifoliadas proveniente de Indonesia y Malasia decline un 52% en comparación a los niveles de 1993. También se espera una caída de la oferta de madera de los países africanos. De esta manera, hay perspectivas favorables para la colocación de madera proveniente de bosques de América Latina. Por otra parte, se espera un aumento de la demanda de madera proveniente de bosques implantados, manejados con el propósito de lograr una producción sostenida en el largo plazo, en el marco de un desarrollo sustentable, en detrimento del uso de madera de bosques naturales. En todo este proceso, Uruguay cuenta con una gran ventaja. Desde el año 1987, está en vigencia la ley 15939 que promueve la plantación de bosques con fines comerciales.

Las cifras aportadas por la Dirección Forestal muestran que la política forestal ha tenido éxito. Hasta abril del 2002, la superficie forestada bajo proyecto era de 602.752 ha, de las 150.675 han sido plantadas con *Eucalyptus grandis*. Estas plantaciones, tienen como destino principal la producción de pulpa y madera aserrada. El objetivo general del siguiente trabajo es el estudio de una especie forestal importante para el país como lo es el *Eucalyptus grandis*.

En la producción de madera con fines industriales, hay dos aspectos importantes: la productividad y la calidad del producto final. Frente a los desafíos actuales y futuros (tanto para el mercado interno como para la exportación), será cada vez más importante para la industria conocer las características y calidad de la materia prima, para obtener un determinado producto final. Es así, como el estudio de las propiedades de la madera de las especies cultivadas en el país adquiere importancia.

Los objetivos específicos del siguiente trabajo se enumeran a continuación:

- Estudiar las siguientes propiedades físicas: contenido de humedad, densidad, porcentaje de duramen, largo y ancho de fibra y diámetro de los vasos así como algunas propiedades mecánicas: MOE, MOR y flexión dinámica.
- Estudiar la variación de estas propiedades a lo largo del árbol y en el diámetro.
- Utilizar algunos métodos de ensayo, con miras a que puedan ser incorporados previo a la etapa de industrialización, para realizar una selección temprana y obtener mejor calidad de madera.
- Realizar una comparación entre árboles muestreados en el departamento de Paysandú y Rivera en el largo de fibra y en las propiedades mecánicas.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

2.1. ANTECEDENTES.

En primer lugar se realizó una recopilación de trabajos a nivel nacional y a nivel internacional para ver qué propiedades de la madera de *Eucalyptus* y en particular *E. grandis* se ha investigado en los últimos años.

2.1.1. Trabajos del exterior

En cuanto a la información internacional, en el cuadro N°1 se pueden ver los trabajos publicados por país, desde octubre 1989 hasta diciembre del 2001.

Cuadro N°1: Trabajos científicos extranjeros publicados en la base de datos CAB hasta diciembre 2001.

AUSTRALIA		
Autor / Año	Especie / Edad	Tratamiento / Objetivos
Wilkins, A.P. 1989.	<i>E. grandis</i> / 9.5 años.	Se ensayan diferentes tratamientos silviculturales y se estudia cómo afectan en el porcentaje de duramen y la densidad.
Wilkins, A.P.; Horne, R. 1991.	<i>E. grandis</i> / 9.5 años.	Ver cómo varía la densidad en respuesta a diferentes tratamientos silviculturales en plantaciones comerciales.
Raymond, C.A.; Mc. Donald, A.C, 1998.	<i>E. globulus</i> / 5 y 10 años. <i>E. nitens</i> / 5, 10, 15 años.	Se estudia el patrón de variación longitudinal en densidad básica para llegar a determinar a qué altura es conveniente utilizar el Pilodyn.

BRASIL		
Autor / Año	Especie / Edad	Tratamiento / Objetivos
Louro, R.P.; Santos, A.V.dos; Machado R.D. 1999.	híbrido <i>E.grandis</i> * <i>E.urophylla</i> .	Estudian la ultraestructura de la madera.
Lima, J.T.; Breese, M.C.; Cahalan, C.M. 2000.	Clones de <i>Eucalyptus spp.</i>	Estudian la interacción genotipo * ambiente en la densidad básica.
Xavier, A.; Borges, R. De C.G.; Cruz, C.D.; Cekan, P.R. 1997.	<i>E. grandis</i> / 7 años.	Evalúan tests de progenie. Estudian los parámetros genéticos de características de calidad de madera.
Gominho, J.; Filgueira, J.; Rodríguez, J.C.; Pereira, H. 2001.	<i>E.urograndis</i> / 5-6 años.	Estudian la variación longitudinal, radial en el contenido de duramen y en la acumulación de extractivos.
Botelho, G.M.L.; Santana, M.A.E.; Alves, M.V. de S. 2000.	<i>E.camaldulensis</i> , <i>E.citriodora</i> , <i>E.cloeziana</i> , <i>E.grandis</i> , <i>E.pilularis</i> , <i>E.urophylla</i> / 18-22 años.	Estudian las propiedades químicas, durabilidad natural y la tratabilidad de la madera.
Moura, V.P.G.; Silva, M.A.; Nascimento Junior, I.V do. 1995.	<i>E.grandis</i> / 11 años.	Efecto de la gomosis en la densidad básica de árboles de distintas procedencias.

CHINA		
Autor / Año	Especie / Edad	Tratamiento / Objetivos
Zeng HaoSheng Chai Xiuwu; Zhou Wenlong 1996.	<i>E.grandis</i> ; <i>E.saligna</i> ; <i>E.camaldulensis</i> ; <i>E.urophylla</i>	Comparan las diferencias anatómicas y en la densidad básica en árboles de diferentes procedencias para las cuatro especies.
Wang Huoran; Chai Xiuwu; Zheng YongQi	<i>E.grandis</i>	Estudian la variación en la velocidad de crecimiento y en las propiedades de la madera en árboles de 15 procedencias.

COLOMBIA		
Autor / Año	Especie / Edad	Tratamiento / Objetivos
Wright, J.A; Endo, M. 1993	Clones <i>E.grandis</i> / 4 años	Estudian la densidad de la madera en clones provenientes de 16 ensayos

EEUU		
Autor / Año	Especie / Edad	Tratamiento / Objetivos
Osorio, L.F; White, T.L; Huber; D.A. 2001.	Clones de <i>E.grandis</i>	Heredabilidad e interacción genotipo*ambiente en el crecimiento y la densidad de la madera en ensayos de clones.

INDIA		
Autor / Año	Especie / Edad	Tratamiento / Objetivos
Bhat., K.M; Thulasidas, P.K.	<i>E.grandis</i> / 30 años <i>E.tereticornis</i> / 16 años	Estudian las propiedades físicas y mecánicas de estas dos especies creciendo en Kerala.

SUDÁFRICA		
Autor / Año	Especie / Edad	Tratamiento / Objetivos
Malan, F.S. 2000.	híbrido <i>E.grandis</i> * <i>E.urophylla</i> .	Comparan la calidad de tablas aserradas del híbrido con las de <i>E.grandis</i> . Se hace un estudio de la densidad, las rajaduras y las características de los nudos y se analiza la presencia de corazón juvenil.
Malan, F.S; Verryn, S.D. 1996.	<i>E.grandis</i> e híbridos / 4 años.	Cómo afecta la interacción genotipo*ambiente en las propiedades de la madera y en la calidad de los árboles.
Malan, F.S. 1991.	<i>E.grandis</i> .	Estudio de la variación y la heredabilidad de las propiedades de la madera juvenil a partir de 72 familias provenientes del Eastern transvaal.
Malan, F.S; Hoon, M. 1992.	<i>E.grandis</i> , ensayo establecido en 1959 en Zululand.	Efecto de distintos tratamientos silviculturales en las propiedades de la madera de <i>E.grandis</i> .
Malan, F.S. 1993.	híbridos de <i>Eucalyptus</i> .	Se estudia la calidad de la madera.

PORTUGAL		
Autor / Año	Especie / Edad	Tratamiento / Objetivos
Rezende, M.A; Saglietti, J.R.C; Chaves, R. 1998.	<i>Eucalyptus spp</i> / 8 años.	Estudian la variación en Peso específico de la madera en función de diferentes niveles de productividad.

Fuente: Búsquedas Commonwealth Agricultural Bureaux (CAB) realizadas "online" en Diciembre 2001.

2.1.2. Trabajos nacionales

En diciembre 2001 se realizó en las bibliotecas de la Facultad de Agronomía y del LATU, la búsqueda de los trabajos nacionales sobre la madera de *Eucalyptus spp*.

En el cuadro N°2 se presentan trabajos nacionales relacionados al presente trabajo.

Cuadro N°2: Trabajos nacionales realizados sobre la madera del género *Eucalyptus*.

Autor / Año	Especie/ Localidad / Edad	Tratamiento / Objetivos
Soria, L. 1979.	<i>E. grandis</i> . / Tacuarembó. / 4 años.	Se buscó determinar la aptitud papelera del <i>E. grandis</i> . Para ello se estudian propiedades físicas, mecánicas, microscópicas y químicas. Se comparan las propiedades a tres alturas en el árbol.
Carriquiri, J. 1993.	<i>E. viminalis</i> ; <i>E. globulus</i> ; <i>E. maidenii</i> . / Colonia. / 11-13 años.	Determinar la aptitud papelera de estas especies
Bianchi, B.; Dibarboure, H. 1993.	<i>E. grandis</i> .	Selección de <i>E. grandis</i> por peso específico y evaluación de tensiones de crecimiento.
Ross, S.; Saravia. 1994.	<i>E. globulus</i> .	Determinación de las propiedades físicas y mecánicas.
Dighiero, A.; Falcone, A. 1996.	<i>E. maidenii</i> ; <i>E. viminalis</i> . Cerro Largo, Paysandú, Colonia, Canelones.	Estudian las propiedades físicas de ejemplares de estas dos especies provenientes de distintas localidades del país.
Mantero, C. 1999.	<i>E. grandis</i> ; <i>E. globulus</i> ; <i>E. tereticornis</i> .	Se realiza estudio de las propiedades físicas y mecánicas
Centurión, C.; Llano, L. 1999.	<i>E. grandis</i> .	Peso específico aparente básico del <i>Eucalyptus grandis</i> Hill (ex Maiden).
De Mello, J.C. Fernández, R. 2000.	<i>E. grandis</i> ; <i>E. dunnii</i> ; <i>E. viminalis</i> ; <i>E. badjensis</i> .	Aptitud papelera de 4sp. de eucalyptus.
Carrau, D.; Oribe M. 2000.	<i>E. globulus globulus</i> ; <i>E. maidenii</i> ; <i>E. bicostata</i> .	Aptitud papelera de 4 especies de <i>Eucalyptus</i> .
Pérez del Castillo, A. 2001.	<i>E. grandis</i> .	Propiedades mecánicas y calidad de madera de <i>Eucalyptus grandis</i> del norte de Uruguay.
Bothig, S. 2001.	<i>E. grandis</i> .	Densidad, dureza y color de <i>Eucalyptus grandis</i> de Uruguay.

2.2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

Se realizó a partir de distintos trabajos, una recopilación de resultados de las características de la madera de *Eucalyptus* que se estudiarán en este trabajo: contenido de humedad, porcentaje de duramen, densidad e infradensidad, largo y ancho de fibra diámetro de los vasos, penetración por pilodyn y propiedades mecánicas. A su vez se estudia la relación entre la velocidad de crecimiento en diámetro y las distintas propiedades.

2.2.1. Crecimiento y calidad de la madera

Malan, *et al.* en un trabajo realizado en un ensayo de *E. grandis* establecido en Zululand, Sudáfrica en 1957, utilizaron distintos tratamientos silviculturales. Los autores llegan a determinar que aquellas prácticas silviculturales tendientes a acelerar la velocidad de crecimiento, no tienen ningún efecto en detrimento de las propiedades básicas de la madera o en la cantidad de tensiones de crecimiento.

2.2.2. Contenido de Humedad

En un ensayo realizado en Sudáfrica en el Eastern Transvaal, Purnell, 1988 trabajando con *E. nitens*, encontró que el contenido de humedad aumenta desde los 0-2,4 m de altura en el árbol, para luego disminuir desde los 2,4 hasta los 12 metros de altura, con tendencia lineal. En promedio, el contenido de humedad disminuyó un 30% desde los 2,4 hasta los 12 metros de altura. El mismo autor cita resultados similares que han sido encontrados para *E. regnans* en Nueva Zelandia (Frederick *et al.* 1982) en árboles de 4-17 años de edad y en árboles de 43 años de edad de *E. regnans* en Australia (Chafe, 1985).

2.2.3. Porcentaje de Duramen

Dighiero y Falcone, 1993 citan para trozas basales de *E. maidenii* y *E. viminalis* obtenidas de plantaciones en distintos puntos del país, valores de porcentaje de duramen. En el cuadro N°3 se pueden ver dichos valores.

Cuadro N°3: Porcentaje de duramen para *E. maidenii* y *E. viminalis* de distintas localidades

Localidad	Porcentaje de duramen (%)	
	<i>E. maidenii</i>	<i>E. viminalis</i>
Bañado Medina	62,0	73,7
Piedras Coloradas	72,0	80,2
Cuñapirú	73,5	72,9
J.Lacaze	72,7	93,1
Soca	65,8	83,9

En el estudio realizado por Purnell, 1988 en *E. nitens*, el mismo encontró que el porcentaje de duramen permanece constante desde la base hasta aproximadamente los 7,2 metros

de altura en el árbol. El porcentaje de duramen, varía significativamente para los distintos orígenes de semilla.

Rodríguez *et al.* 2001, sostienen en su trabajo realizado en Brasil, con clones de *E. urograndis* de 5-6 años, que el duramen está presente en todos los árboles estudiados hasta un 65% de la altura total. En el árbol, el porcentaje de duramen disminuye desde la base hacia la copa del árbol. Se citan valores de 51% y 18% de duramen en la base y a 65% de la altura total respectivamente.

Wilkins, 1991 trabajando en Nueva Gales del Sur con *E. grandis* de 9,5 años, concluye que el porcentaje de albura se correlaciona positivamente con la altura en el fuste y negativamente con la velocidad de crecimiento.

2.2.4. Densidad e Infradensidad.

Rodríguez *et al.* 2001, trabajando con clones de *E. urograndis* de 5-6 años de edad en Brasil, llegan a determinar que la densidad promedio es $0,491 \text{ g/cm}^3$. La altura mostró ser un factor de variación importante. Se observó una pequeña disminución de la densidad desde la base hasta un 25% de la altura, para luego aumentar hacia la copa del árbol. Los autores sostienen que esta es una tendencia esperable en los *Eucalyptus*, donde la densidad básica aumenta con la altura.

Centurión y Llano, 1995, trabajaron con 68 árboles de *E. grandis* de 12 años provenientes de Cerro Largo. Sacaron muestras de la madera mediante un calador Pressler a 1,3 m desde el suelo, evitando siempre sacar muestras de la zona de la médula. Para determinar el peso específico, utilizaron 2 métodos: el Método del Máximo Tenor de Humedad (MTH) y el Método Unit 237-70. Estos autores observaron: que existe una alta variabilidad intraspecífica del peso específico aparente básico para la especie, cualquiera sea el método empleado en su determinación. A su vez concluyen que la variación en relación con la altura en el fuste y en sentido radial depende de cada individuo. No encontraron correlación entre la densidad ρ_b y la Infradensidad.

Wilkins, 1989 trabajando con *E. grandis* de 9 años de edad, ensaya diferentes tratamientos silviculturales. Este autor concluye que no hay una relación clara entre la densidad de los árboles individuales y la velocidad de crecimiento.

2.2.5. Características anatómicas.

2.2.5.1. Largo y ancho de fibra.

Downes *et al.* 1997, presentan un trabajo acerca de un muestreo intensivo realizado en 30 puntos a lo largo del anillo en *E. nitens* y *E. globulus* en el noroeste de Tasmania. En el mismo sostiene, que hay una variación sistemática en la morfología de la fibra en el radio. En cuanto al porcentaje de diferencia de largo de fibra entre los distintos puntos del radio, se dividieron los datos a lo largo del radio en tres zonas: (0-33% del radio, 33-66% del radio y de 66% del radio hasta la corteza). En estos estudios se llegó a determinar zonas con fibras de

iguales dimensiones: estas zonas se identificaron como madera juvenil (hasta un 33% del radio), madera media (hasta un 66% del radio) y madera adulta en el resto del radio. Los mismos autores sostienen que estas zonas pueden ser identificadas a todas las alturas estudiadas. En el trabajo citado se obtuvieron valores de largo de fibra 23% mayores en la madera media que en la madera juvenil y una diferencia de 6% entre la madera adulta y la madera media (mayor en la adulta).

En otros estudios como el de Bhat *et al.* 1990 trabajando con *E. grandis* en India, en árboles de 3, 5, 7 y 9 años, también se destaca la importancia de la variación radial del largo de fibra, el cual aumenta desde la médula hacia la corteza.

En cuanto a la variación en la altura, según los datos presentados por Downes *et al.* 1997 acerca de los estudios realizados por Muneri y Raymond 1997; Raymond *et al.* 1997^a, el largo de fibra en tres especies estudiadas: *E. globulus* (5-7 años), *E. nitens* (7-9 años) y *E. regnans* 9 años, aumenta con pequeños incrementos hasta un 20% de la altura, seguido por una meseta o por una disminución en el largo de fibra. Estos mismos autores citan valores de disminución del largo de fibra en 6 árboles de *E. nitens* de 27% entre un 20 y un 80% de la altura total.

Bhat *et al.* 1990 en un estudio llevado a cabo sobre *E. grandis* en Kerala, India, encontraron a partir de árboles de 4 edades diferentes (3, 5, 7 y 9 años) que la longitud de fibras aumenta hasta un 25% de la altura, para luego disminuir hacia la copa. Este patrón de variación longitudinal confirma la observación realizada por Bamber y Burley, 1969 en la misma especie, quienes afirman que entre los 1 y los 5 años de edad, las fibras más largas se encuentran por debajo del 50% de la altura total.

Soria, 1979 trabajando con 5 árboles de *E. grandis* de 4 años de edad provenientes del departamento de Tacuarembó, encontró diferencias en el largo de fibra a las 3 alturas estudiadas (apical, media y basal). Los valores promedios a cada altura fueron: apical: 0,83 mm; medio: 0,75 mm y basal: 0,67 mm. En cuanto al ancho de fibra, los valores obtenidos fueron: basal: 11,15 micras; medio: 11,43 micras y apical: 11,51 micras.

Carriquiri, 1993 realizó estudios en 3 especies: *E. globulus* (13 años), *E. maidenii* y *E. viminalis* (ambos de 11 años) provenientes del departamento de Colonia. Trabajó en los tres casos con la troza basal y presenta valores de largo de fibra: 0,996 mm, 0,967 mm y 0,946 mm respectivamente.

Dighiero y Falcone, 1993 trabajan con ejemplares con un mínimo de 15 cm de diámetro de *E. maidenii* y *E. viminalis* de distintas partes del país. Analizan la troza basal y presentan valores de largo de fibra de 0,947 mm para *E. maidenii* y de 0,637 mm para *E. viminalis*. En cuanto al ancho de fibra, obtuvieron valores: *E. maidenii*: 8,88 micras y *E. viminalis*: 9,15 micras.

Backman y García de León, 1998 trabajando con árboles de 4 años de edad de distintas especies de *Eucalyptus* provenientes de Tres Bocas, Río Negro, presentan valores de largo de fibra: *E. grandis* = 0,56 mm; *E. saligna* = 0,53 ; *E. dunnii* = 0,6 mm; *E. maidenii* = 0,47 mm y *E. benthamii* = 0,47 mm.

Fernández y Ros, 2002 estudian árboles de 5 años de edad de 2 especies: *E.badjensis* y *E.dunnii*, provenientes del departamento de Tacuarembó. Realizan estudios a 3 alturas diferentes: basal, media (50% de la altura comercial) y apical (75% de la altura comercial). En los cuadros N°4 y N°5, se observan los valores obtenidos.

Cuadro N°4: Largo de fibra a 3 alturas distintas de *E.badjensis* y *E.dunnii*

Especie		Largo de fibra (mm)
<i>E.badjensis</i>	basal	0,47 - 0,77 - 1,17
	media	0,52 - 0,79 - 1,18
	apical	0,53 - 0,82 - 1,22
<i>E. dunnii</i>	basal	0,55 - 0,88 - 1,29
	Media	0,53 - 0,87 - 1,22
	Apical	0,56 - 0,92 - 1,40

Fuente: Fernández y Ros 2002 com.pers.

Cuadro N°5: Ancho de fibra (micras) a 3 alturas distintas de *E.badjensis* y *E.dunnii*

Especie		Ancho de fibra (micras)
<i>E.badjensis</i>	basal	9,45
	media	9,09
	apical	9,12
<i>E. dunnii</i>	basal	10,58
	Media	11,23
	Apical	10,99

Fuente: Fernández y Ros com.pers.

2.2.5.2. Diámetro de los vasos.

Se buscó el diámetro de los vasos de otras especies que presentan porosidad difusa.

Cuadro N°6: Diámetro radial y tangencial de diferentes especies de porosidad difusa.

Especie	Diámetro radial	Diámetro tangencial
<i>Paulownia tomentosa</i>	150-350	140-260
<i>Tectona grandis L.</i>	330-450	240-380
<i>Betula maximowiczana Regel</i>	50-200	50-200

Fuente: Wood Industrial Handbook de Japón.

2.2.6. Penetración por Pilodyn.

Pérez del Castillo, 2001, trabajando con trozas basales de 10 árboles de 6.5 años, de *Eucalyptus grandis* del departamento de Rivera, realizó el ensayo con Pilodyn a partir de pequeñas probetas de 30x30x60 mm, llevadas a 12% de contenido de humedad. Para las 93

probetas ensayadas, encontró una correlación de $-0,836$ entre la penetración con Pilodyn y la densidad.

Raymond, 1998 con el fin de encontrar la altura óptima para utilizar el Pilodyn, estudió el patrón de variación longitudinal de densidad de árboles provenientes de plantaciones de *E.globulus* (de 5 y 10 años) y de *E.nitens* (5,10,15 años) creciendo en tres áreas geográficas de Tasmania. Concluyen que para *E.globulus* la altura óptima para utilizar el Pilodyn es 1,3 m del suelo, mientras que para *E. nitens*, la altura óptima es 1,5 m.

2.2.7. Propiedades mecánicas

Soria, 1979 cita valores promedio de MOE de 13517, 16200 y 14015MPa en la parte alta, media y baja de árboles de *E.grandis* respectivamente. En cuanto al ensayo de flexión dinámica, cita valores resistencia a la flexión dinámica para esas mismas 3 posiciones del árbol de 0,59, 0,58 y 0,96.

Mantero, 1999 trabajó con 20 probetas de *Eucalyptus grandis* en árboles de diferente edad, de más de 25 cm de diámetro de diferentes localidades del país (Rivera, Paysandú, Río Negro, Durazno). Obtuvo datos de Módulo de Elasticidad promedio en condición seco (12% de contenido de humedad) de 13800, con valores entre 12400 y 15300 MPa. En condición verde dichos valores fueron de 10200 con valores entre 8900 y 11500 MPa. El Módulo de Rotura en condición seco promedio fue de 80, con valores entre 75 y 86MPa. En condición verde el valor promedio fue de 57, con valores entre 54 y 60 MPa. En el ensayo de Flexión dinámica, se obtuvieron valores de Energía absorbida de 14,7 J/cm² (condición seco) y 14,5 J/cm² (condición verde).

Pérez del Castillo, 2001 publica datos sobre propiedades mecánicas de *E.grandis* de 16,5 años de Rivera. A partir de 10 trozas basales, se obtienen 52 probetas (pequeñas, libres de defectos) acondicionadas a 12% de contenido de humedad. Mediante el ensayo de flexión estática, obtiene valores mínimo, promedio y máximo de: MOE: 8200-11300-15900 MPa y MOR: 42,4-80-101,9 MPa. Para las 52 probetas ensayadas obtiene una correlación de 0,895 entre el MOE y el MOR.

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. MATERIALES.

3.1.1. Caracterización de la madera utilizada.

En el departamento de Rivera, en enero de 2002 se llevó a cabo un muestreo. El mismo fue realizado por el Sector Productos Forestales del I.A.T.U y se tomó una muestra de 30 árboles. Los árboles se eligieron tomando en cuenta las siguientes características: crecimiento (no se muestrean árboles suprimidos, ni árboles dominantes), rectitud de fuste, desrame natural y grosor de ramas (se evitan árboles que presentan ramas muy gruesas). En el campo, los 30 árboles seleccionados fueron agrupados en tres clases diamétricas. Para el presente trabajo, de los 30 árboles se eligieron 6. En esta segunda selección se eligieron al azar dos árboles por clase diamétrica.

El muestreo se llevó a cabo en la Estancia Trinidad, Paraje Batoví Dorado, departamento de Rivera, en una plantación comercial de 12 años de edad. La densidad inicial fue de 1111 árboles/ha. La plantación fue realizada sobre suelos Coneat 7.31. La procedencia de la semilla fue Facultad de Agronomía. EEBM y en el monte se había realizado un raleo a los 7 años de edad, hasta una densidad de 400 árboles/ha.

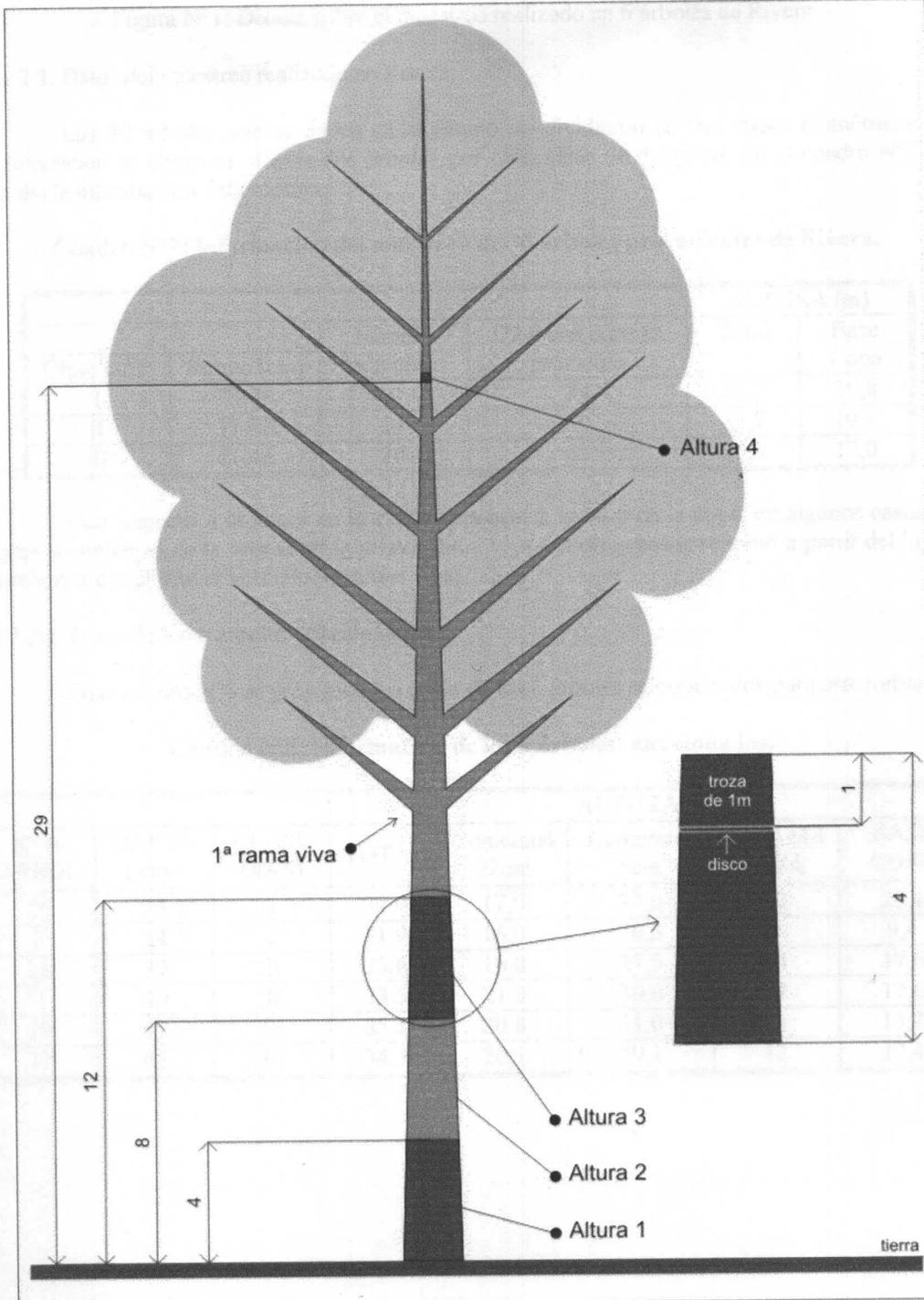
Por otro lado, se trabajó con dos trozas basales de 35 centímetros de diámetro y 35 cm de altura, provenientes de otra plantación comercial de 10 años de edad de la localidad de Piedras Coloradas, departamento de Paysandú.

Los ensayos se llevaron a cabo entre enero y junio del 2002.

3.1.2. Características de las muestras.

Los 6 árboles seleccionados en el campo, fueron muestreados a tres alturas distintas para lo cual se cortaron 3 trozas de 4m de largo: (de 0-4m, 4-8m y 8-12m). Se obtuvo una troza adicional de 30cm de largo en la mitad de la copa, con un diámetro de 8cm. En total, como se observa en la figura N°1, se muestrearon cuatro alturas diferentes.

Una vez en el laboratorio, de cada troza de 4m de largo, se sacó del extremo apical (a menos que la conicidad fuera mínima) una troza de 1m de largo para los ensayos de flexión estática y flexión dinámica y un disco de 10cm aproximadamente de altura para realizar los ensayos de porcentaje de duramen, humedad, densidad, largo y ancho de fibra, diámetro de los vasos y pilodyn. De las trozas sacadas en la altura N°4, también se obtuvieron dos discos del extremo apical con los cuales se hicieron los ensayos de humedad, densidad, largo y ancho de fibra y diámetro de vasos. En la figura N°1 se pueden ver los detalles del muestreo realizado.



(dimensiones en m)

Figura N°1: Detalle sobre el muestreo realizado en 6 árboles de Rivera

3.1.2.1. Datos del muestreo realizado en Rivera.

Los 30 árboles seleccionados en el campo, se dividieron en tres clases diamétricas. A continuación se eligieron al azar dos árboles por cada clase de diámetro. En el cuadro N°7 se detalla la información del muestreo.

Cuadro N°7: Información del muestreo de 30 árboles provenientes de Rivera.

Clase DAP	Rango (cm)	Número Individuos	DAP con corteza promedio	ALTURA (m)	
				Total	Base Copa
I	33-36	9	34	33,7	19,8
II	37-40	11	39	34,7	19,1
III	41-46	10	43	35,3	17,0

Con respecto a la altura en la cual se encuentra la base de la copa, en algunos casos se tomó el comienzo de la misma en la primer rama viva. En otros casos se tomó a partir del lugar donde aparece el primer verticilo de ramas vivas.

3.1.2.2. Datos de los 6 árboles seleccionados.

En el cuadro N°8 se presentan los datos de los 6 árboles seleccionados para este trabajo.

Cuadro N°8: información de los 6 árboles seleccionados.

N° de ARBOL	DAP c/c (cm)	CLASE DIAM	ALTURA (m)				
			TOTAL	Comercial 22cm	Comercial 8cm	1° RAMA VIVA	BASE COPA
16	33	I	37,0	17,0	32,0	20	20,4
3	34	I	31,9	16,0	26,5	9	9,4
26	39	II	33,6	16,0	27,5	14	17,6
1	40	II	33,5	21,0	30,0	17	17,6
29	41	III	35,1	20,8	31,0	13	13,7
27	45	III	34,5	20,1	29,1	12	12,4

3.2. MÉTODOS.

La metodología general seguida fue la siguiente:

1. Clasificación visual de las trozas.
2. Determinación del contenido de humedad.
3. Estudio del porcentaje de duramen.
4. Características anatómicas: largo de fibra, ancho de fibra, diámetro de los vasos.
5. Estudio de la Densidad_{ab} e Infradensidad.
6. Penetración por Pilodyn.
7. Propiedades mecánicas: flexión estática (MOE y MOR) y flexión dinámica.

3.2.1. Clasificación visual de las trozas.

Una vez en el laboratorio, se realizó la clasificación visual de las trozas, elaborada por el JICA (Agencia de Cooperación Internacional Japonesa) en conjunto con el LATU. A las mismas se les asignó diferente categoría según la presencia de defectos. En el cuadro N°9 se presentan las categorías asignadas a cada troza en el laboratorio y se detallan los criterios por los cuales se realizó la clasificación.

Cuadro N°9: Categoría asignada a cada troza de 4m de largo por árbol

N° de ÁRBOL	Categoría con corteza		
	Troza 1	Troza 2	Troza 3
16	I	III	II
3	II	III	IV
26	I	II	IV
1	I	II	III
29	I	II	II
27	I	II	IV

Criterio seguido:

Categoría I: Fuste recto, sin nudos ni otros defectos, poca conicidad (< 20-30%). Diámetro mayor a 30cm.

Categoría II: Fuste presentando poca curvatura, poca cantidad de nudos, diámetro menor a 30cm.

Categoría III: Fuste curvo y con gran cantidad de nudos, diámetros de fuste pequeños o con otros defectos graves como alta conicidad.

Categoría IV: Troza con severos defectos, muy mala calidad.

3.2.2. Contenido de Humedad.

El objetivo de este estudio es llegar a determinar el contenido de humedad en las cuatro alturas estudiadas y ver a su vez la variación en el radio.

El ensayo se basó en la norma ASTM:D4442-92 (1997), la cual establece la fórmula (1) para el cálculo del contenido de humedad en base seca:

$$\text{(Peso Verde – Peso Seco) / Peso Seco (1)}$$

A su vez, se establece que se debe usar una estufa que mantenga una temperatura constante de 103°C +/- 2°C.

En el caso de las muestras provenientes del departamento de Rivera, como se puede ver en la figura N°1, se obtuvo un disco de 10 cm de altura aproximadamente. Como se observa en la figura N°2, en dicho disco se marcó un listón de 4cm de ancho a lo largo del diámetro, pasando por la médula. Siempre que fuese posible (que no hubiese presencia de nudos, ni medula excéntrica), dicho listón se marcó siguiendo la dirección E-W. De dicho listón, una mitad (orientada hacia el W), se utilizó para realizar el ensayo de humedad y la otra mitad (hacia el E), se utilizó para el ensayo de densidad e Infradensidad.

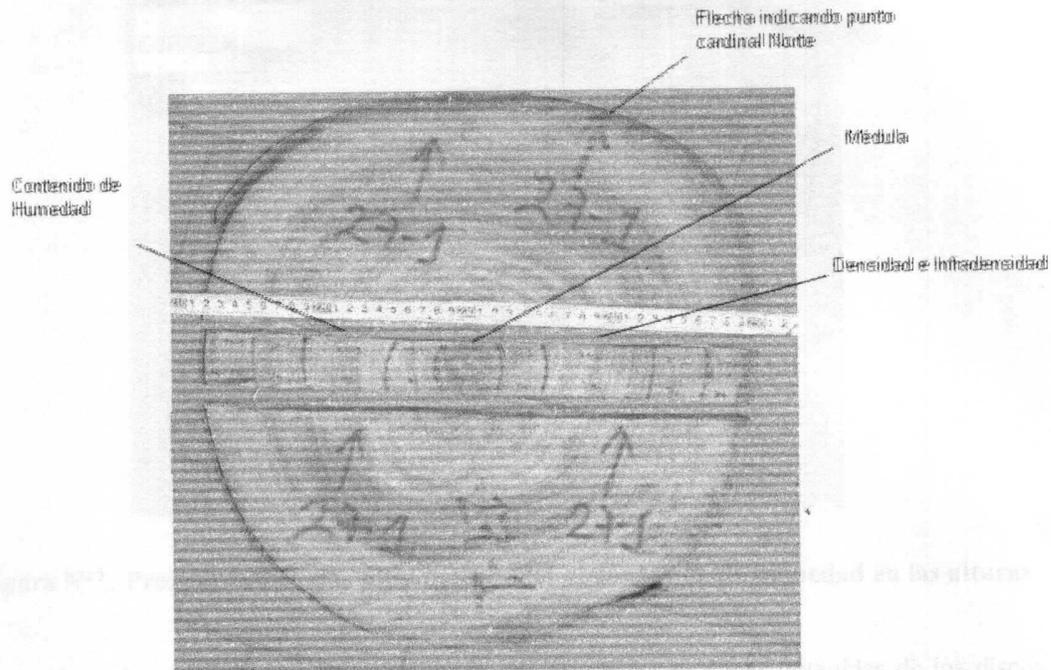


Figura N°2: Probetas para realizar los ensayos de humedad y densidad.

En la mitad utilizada para el ensayo de humedad, en los discos correspondientes a las alturas 1, 2 y 3, se marcaron 4 probetas desde la médula a la corteza, las cuales se nombraron: A1, A2, A3 y A4 respectivamente. En el disco correspondiente a la altura 4, se marcaron solo tres probetas.

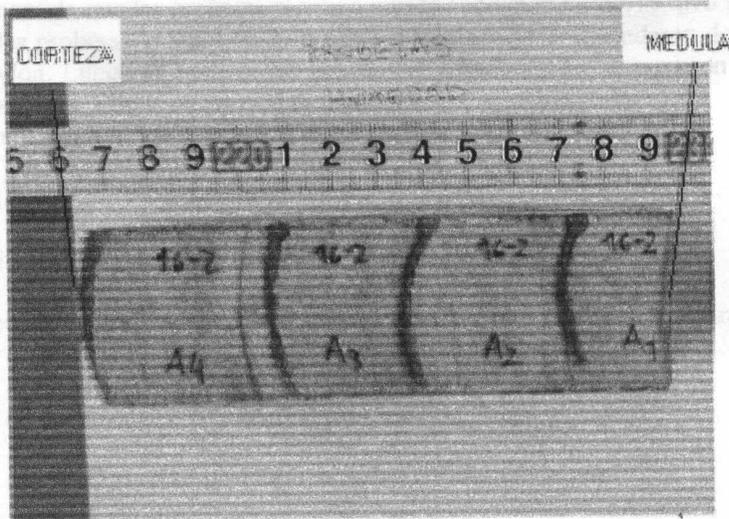


Figura N°3: Probetas utilizadas para determinar el contenido de humedad en las alturas N°1, 2 y 3.

A continuación se presenta una figura mostrando las probetas obtenidas de los discos provenientes de la altura N°4.

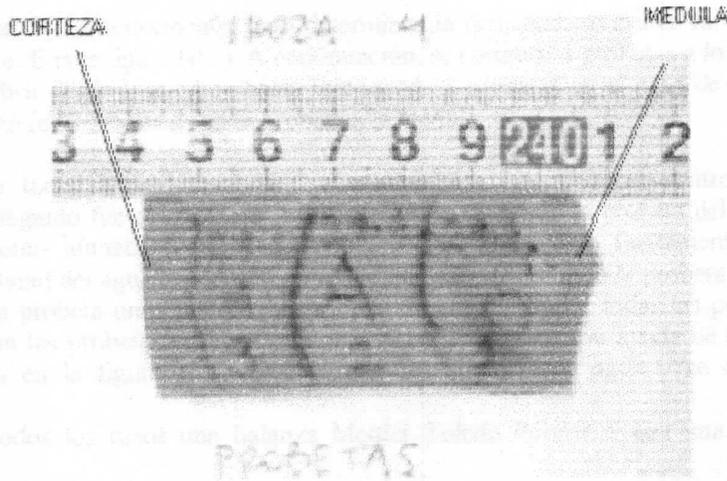


Figura N°4: Probetas utilizadas para calcular el contenido de humedad en la altura N°4.

De manera de que las probetas mantuvieran la condición verde, se tuvo la precaución de cortar y pesar las probetas lo más rápido posible y las mismas se trasladaron de un lugar a otro en bolsas de nylon. Luego de realizar las pesadas en estado verde, se pusieron en estufa hasta llegar a peso constante, donde se tomó el peso anhidro. Se utilizó una balanza Mettler Toledo PG503 S con una apreciación de 0,001g.

3.2.3. Densidad.

3.2.3.1. Densidad básica (Densidad $_{ab}$).

El objetivo de este estudio fue llegar a determinar la densidad $_{ab}$ a distintas alturas y ver la variación en el radio.

Para el cálculo de la densidad $_{ab}$ se utilizó la fórmula (2).

$$\text{Densidad}_{ab} = \text{Peso anhidro} / \text{Volumen verde} \quad (2)$$

Para calcular la densidad aparente básica, se utilizaron dos métodos diferentes: Método Hidrostático y el Método de "Máximo contenido de Humedad o Infradensidad".

A) Método Hidrostático.

Dicho método se basa en la Norma Tappi 258 om-94, la cual establece un procedimiento para determinar la densidad en discos de madera.

Como se dijo anteriormente, para determinar la densidad, se utilizó la mitad del listón orientada hacia el E (ver figura N°2). A continuación, se cortaron 4 probetas a lo largo del radio, de forma de cubrir desde la médula hasta la corteza (3 probetas en el caso de la altura 4). Se midió la distancia (cm) precisa de cada probeta a la médula.

Durante todo el procedimiento, se mantuvieron las probetas dentro del agua. El procedimiento seguido fue el siguiente: en primer lugar se extrae la probeta del agua y se seca con un paño semi-húmedo (pañó empapado en agua y escurrido fuertemente) hasta lograr eliminar la totalidad del agua superficial, objetivo que se logra cuando la probeta pierde el brillo. Se deja orear la probeta unos minutos y se toma el peso. Se hacen todas las pesadas al aire y luego se colocan las probetas en agua otra vez. A continuación, con ayuda de un implemento, que se observa en la figura N°5, se sumergen las probetas en agua y se obtiene el peso sumergido (S).

Se utilizó en todos los casos una balanza Mettler Toledo PG503 S con una apreciación de 0,001g.



Figura N°5: Balanza e implemento utilizado para obtener el peso de la probeta sumergida.

B) Método de "Máximo contenido de humedad" o "Infradensidad".

El método de "Máximo contenido de humedad" es un método más simple que el método de inmersión en agua y por lo tanto más rápido (Smith, 1954). Este método asume como constante la densidad del material componente de la pared celular (celulosa), el que toma como $1,53\text{g/cm}^3$. La ventaja principal es que solamente requiere realizar dos pesadas (peso saturado en agua y peso anhidro). El mayor inconveniente es que las probetas deben estar totalmente saturadas en agua, lo que implica que en casos se deba hacer tratamientos de vacío o se deba hervir en agua las probetas.

$$\text{Densidad básica} = 1 / (W_s - W_{od}) / (W_{od} + 1 / 1,53) \quad (3)$$

Donde:

W_s = peso saturado

W_{od} = peso anhidro

3.2.3.2. Densidad corriente.

En el momento de realizar los ensayos de propiedades mecánicas, se determinó la densidad corriente o sea la densidad con el contenido de humedad existente al momento de realizar los mismos. Se aplicó la fórmula: Masa / Volumen.

3.2.4. Porcentaje de duramen.

Para determinar el porcentaje de duramen, se utilizaron dos métodos:

- por diferencia de peso de la superficie de papel recortada a partir de una fotografía (tomando el peso del disco entero (albura + duramen) y luego se tomó el peso de la superficie de papel correspondiente al duramen).
- midiendo el espesor de la albura en dos o en cuatro puntos opuestos del disco.

El procedimiento seguido en el primer método fue el siguiente: en primer lugar se marcó sobre el disco el límite entre la albura y el duramen. Luego se le sacó una fotografía a cada disco. A continuación se imprimió cada foto y se procedió a cortar la superficie total del disco. Se tomó el peso del papel correspondiente al total del disco. Luego se cortó el área correspondiente al duramen y se pesó otra vez. Por diferencia de peso de las dos superficies de papel, se determinó el porcentaje de duramen.

El segundo método utilizado consistió en sacar una fotografía de cada disco marcado junto con una regla centimetrada pasando por la médula, a lo largo del diámetro. De esta manera se tiene el espesor de la albura en dos puntos opuestos del disco. Por diferencia entre la longitud del radio y el espesor de la albura, se obtiene el porcentaje de duramen en un punto. Así se determina el porcentaje de duramen en dos o cuatro puntos del disco (depende de la excentricidad del disco) y luego se promedian.

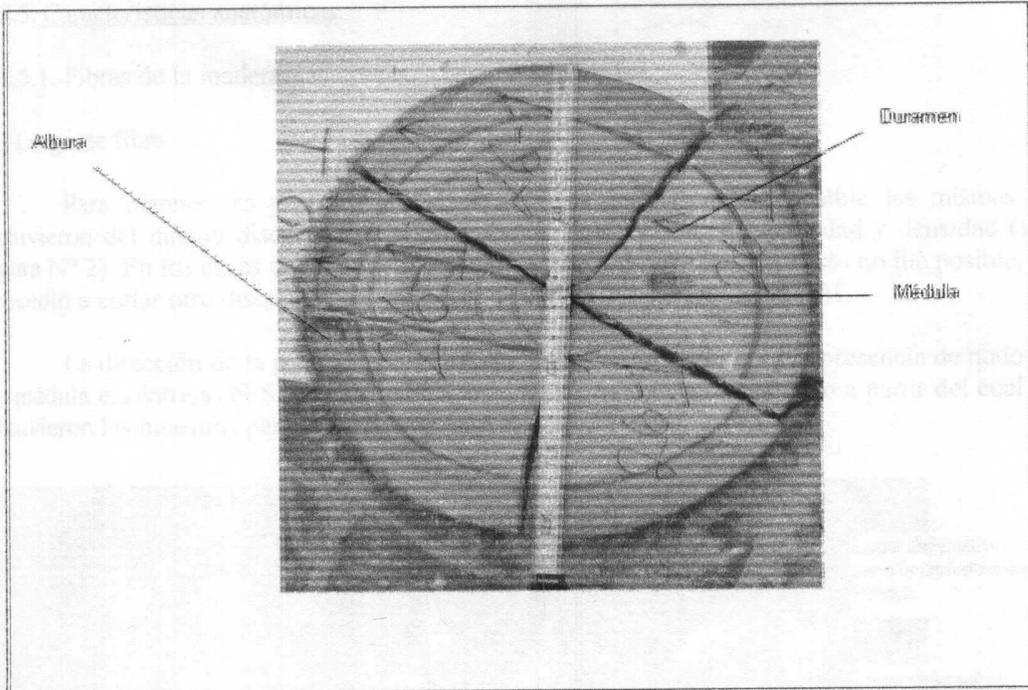


Figura N°6: Uno de los métodos utilizados para determinar el porcentaje de duramen.

3.2.5. Características anatómicas.

3.2.5.1. Fibras de la madera.

A) Largo de fibra.

Para obtener las probetas a ensayar, en los casos que fue posible las mismas se obtuvieron del mismo disco utilizado para obtener las probetas de humedad y densidad (ver figura N° 2). En los casos en que por presencia de nudos u otros defectos esto no fue posible, se procedió a cortar otro disco de la troza de 1m que se muestra en la figura N°1.

La dirección de la probeta fue en casi todos los casos (salvo por la presencia de nudos y de médula excéntrica) N-S. En la figura N°7 se puede ver el listón marcado a partir del cual se obtuvieron las muestras para realizar este ensayo.

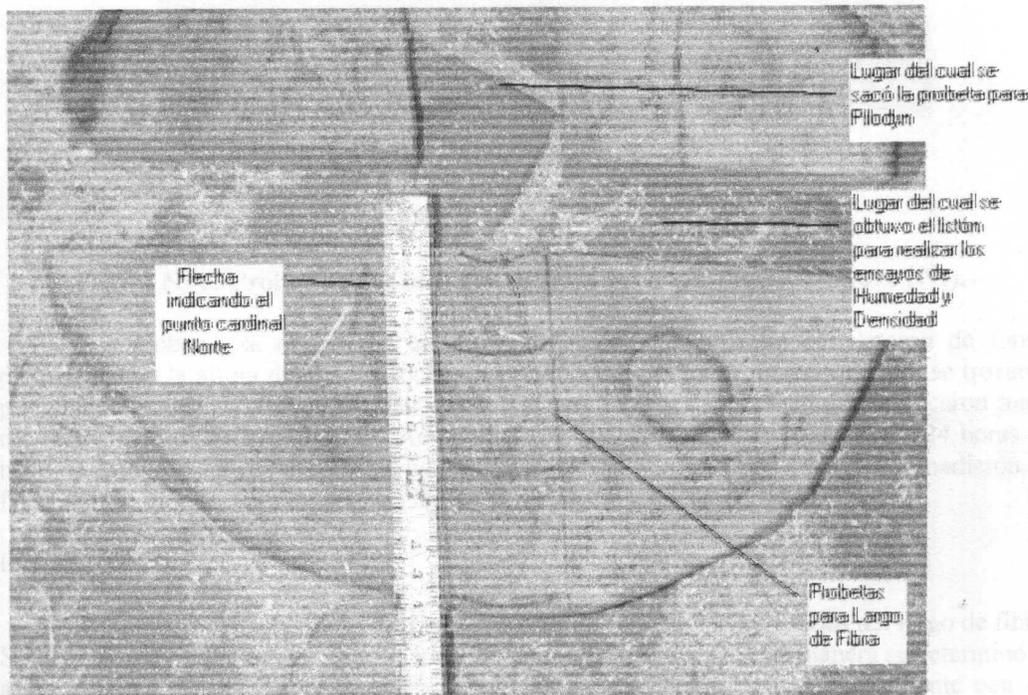


Figura N° 7: Disco a partir del cual se obtuvieron las probetas para los ensayos de humedad, densidad, pilodyn y largo de fibra.

El criterio para obtener los lugares a ensayar fue el siguiente: en las trozas N°1 (basales), como se observa en la figura N°6, se marcaron 7 puntos desde la médula hasta la corteza. En las trozas N°2, 3 y 4 se marcaron 3 puntos de forma de abarcar todo el radio (aproximadamente a 10, 75 y 90% del radio respectivamente). En todos los casos se sacaron fotos junto con una regla centimetrada de forma de tener la ubicación exacta de los puntos de ensayo.

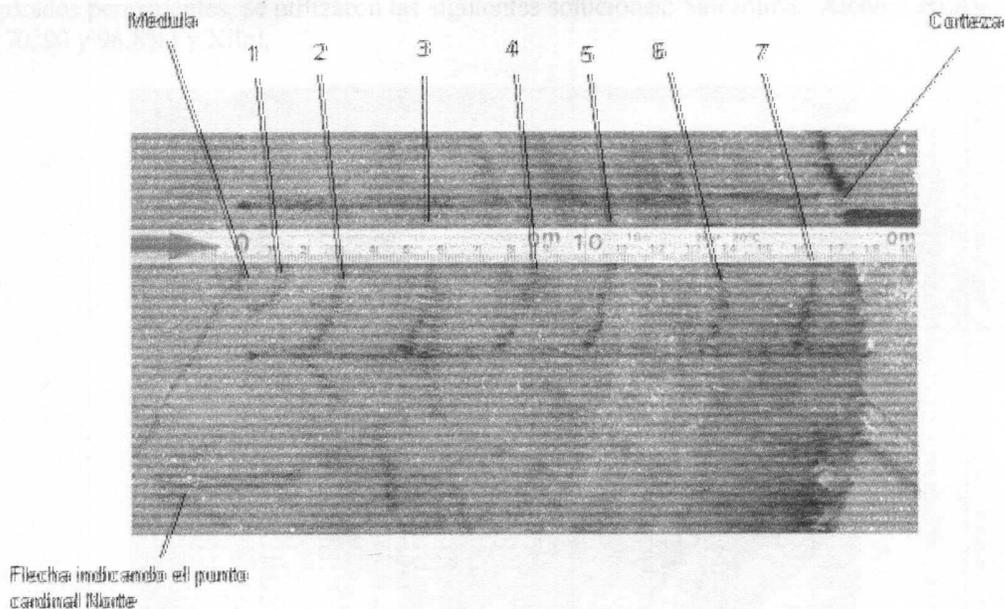


Figura N° 8: Probetas para largo de fibra en las trozas basales (altura N°1).

Las probetas se obtuvieron en dirección radial. Las mismas se cortaron de forma prismática, con la altura del disco (10cm aprox) y pequeña sección. Posteriormente se trozaron para obtener pequeñas probetitas "palitos" de 10 mm de largo. Las mismas se colocaron junto con la Solución de Jeffrey (10-25% Acido nítrico y 10-25% Oxido de cromo), por 24 horas en tubos de ensayo. Una vez disuelta la lignina, se midieron 30 fibras por probeta. La medición de fibras se hizo en proyector de perfiles Nikon con aumentos de X50 y X100.

B) Ancho de fibra.

Para medir el ancho de las fibras, se utilizaron los mismos preparados del largo de fibra. Se midió el ancho de fibra en un solo árbol por clase diamétrica. De esta manera se determinó el ancho de fibra de tres de los seis árboles. El ancho de fibra se midió directamente con un microscopio Nikon Eclipse E800. Se utilizó un aumento de X400.

3.2.5.2 Diámetro de los vasos.

Este estudio se realizó en un árbol y a una sola de las 4 alturas muestreadas. Al azar se eligió el árbol 27, probeta N°2. El ensayo se realizó en una sola cara de la probeta: la transversal. Para obtener las muestras, en primer lugar se prepararon pequeños bloques de madera (de aproximadamente 10x10x10 mm) en las mismas tres posiciones radiales que se sacaron muestras para el largo de fibra (a 10, 75 y 90% del radio). Para obtener las muestras de 15micrones de

sección, se utilizó un micrótopo Yamato Kohki. Ver figura N°9. De manera de contar con suficientes muestras, se procuró obtener diez muestras por probeta. En la preparación de los preparados permanentes, se utilizaron las siguientes soluciones: Saframina, Alcohol etílico (10, 40, 70, 90 y 98.8%) y Xilol.

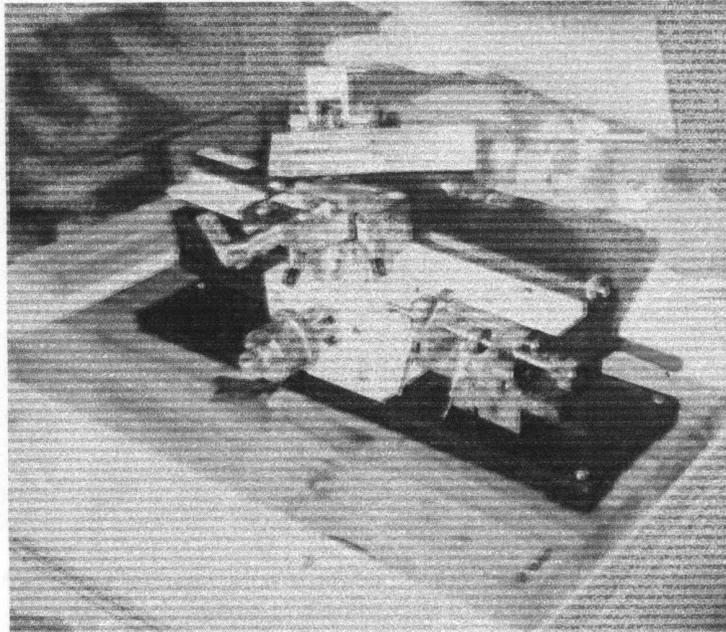


Figura N°9: Vista del micrótopo utilizado en la preparación de las muestras.

Una vez obtenidos los preparados permanentes, para su observación se utilizó un microscopio Nikon Eclipse E800. Se utilizaron 4 aumentos: 40X, 100X, 200X y 400X. En primer lugar se hizo una observación de los tres preparados. Luego se procedió a medir el diámetro en dirección tangencial y radial (ver figura N°10) de 20 vasos por preparado (se obtuvieron tres preparados: en tres lugares del radio) con un aumento de 100X. Con una máquina de fotos incorporada al microscopio, se sacaron fotografías de las tres probetas a 100, 200 y 400X.

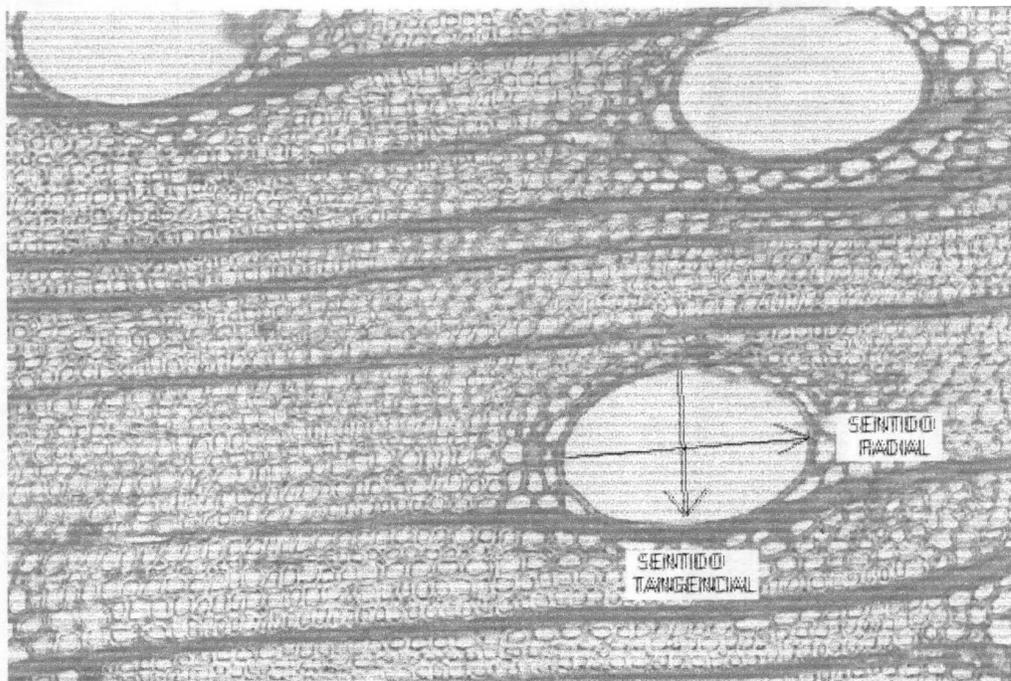


Figura N°10: Corte anatómico transversal. Se pueden ver las 2 mediciones efectuadas para medir el diámetro de los vasos.

3.2.6. Penetración por Pilodyn.

El Pilodyn es un equipo que penetra la madera mediante una aguja de 2.5mm de diámetro, con un impacto de 6J. Se mide la profundidad de penetración del émbolo en milímetros. La profundidad máxima es de 40mm.

Para realizar este ensayo, se obtuvieron en todos los casos las probetas a partir del disco del cual se sacaron las probetas para los ensayos anteriores (ver figura N°5). En este caso se procuró ubicar las probetas para Pilodyn en la dirección norte-sur. Las mismas (4 probetas) se prepararon de tal manera de cubrir todo el radio de la probeta, desde la médula hasta la corteza. Se procuró registrar la distancia en centímetros a la médula.

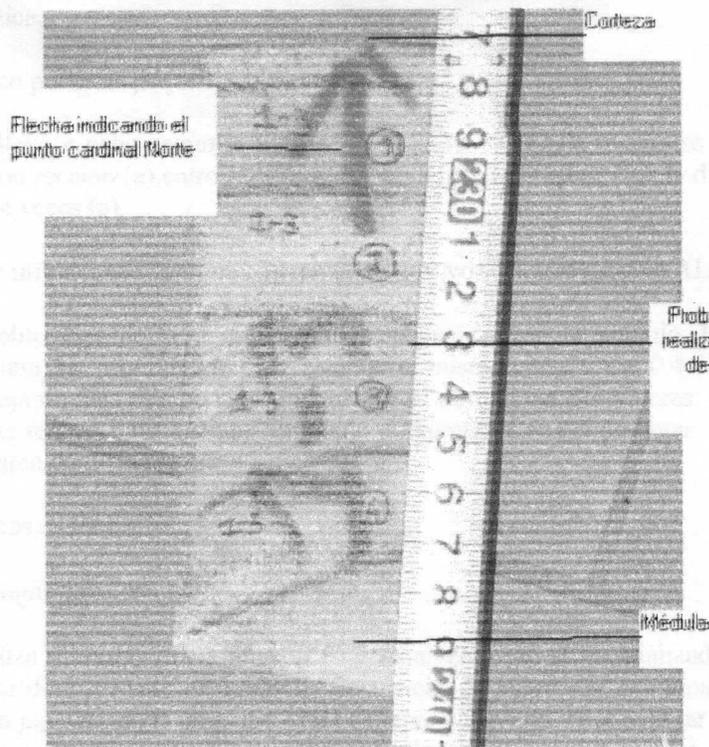


Figura N°11: Probetas para realizar el ensayo de Pilodyn.

El ensayo se llevó a cabo en las trozas 1, 2 y 3 (ver figura N°1). El mismo se realizó en dos condiciones de humedad: verde (por encima del punto de saturación de las fibras) y a 12%. El mismo debe ser realizado de manera que la penetración del émbolo sea bien perpendicular a la dirección de las fibras. Por último se determinó la densidad de las probetas en el ensayo utilizando la misma metodología que para calcular la densidad básica.

3.2.7. Propiedades mecánicas.

Los propiedades mecánicas se estudiaron sobre pequeñas probetas libres de defectos y pequeñas tablas de las siguientes dimensiones: 11cmx1,5cmx70cm largo (el largo es aproximado, varía según la tabla). Las tablas se ensayaron en condición verde y a 12% de contenido de humedad.

3.2.7.1. Flexión estática.

A) Flexión estática en probetas pequeñas libres de defectos.

Este ensayo se llevó a cabo según la norma JIS Z 2113-63. En la misma se establece un tamaño de probeta con sección (a) entre 20 y 40mm y un largo (L) = span + 2a; la distancia entre apoyos (span) será 14 veces (a).

Para el ensayo se utilizó una Máquina Universal de Ensayos Mineba modelo AL-250kNB.

Con los datos obtenidos de la máquina Universal, se calcula el módulo de elasticidad (MOE). Dicha máquina fue programada para calcular el mismo entre 0.2 y 0.4 KN. Por error cuatro probetas se dejaron más tiempo en la máquina y se obtuvo los dos valores: el de MOE y MOR. Este ensayo se realizó bajo distinto contenido de humedad de las probetas: en condición verde y a 12% de contenido de humedad.

B) Ensayos mecánicos en tablas.

- Vibración longitudinal con tablas.

Este método utiliza un equipo denominado FFT Analyzer, que es un analizador de sonido conectado a un micrófono, donde se mide la frecuencia de vibración principal. El equipo utilizado es de origen japonés, de la empresa AND Company Limited. Para realizar el ensayo, se colocaron las tablas apoyadas sobre poliuretano blando (para permitir que la vibración se produzca de manera libre). Para realizar el ensayo de vibración longitudinal, se golpea la cara de un extremo de la troza y con el micrófono colocado a 5cm de la otra cara, se capta la frecuencia longitudinal principal.

El cálculo de MOE se realiza siguiendo la fórmula (4):

$$f-1 = (n / 2 * L) * (E_{f-1} * g/p)^{1/2} \quad (4)$$

donde: E_{f-1} = MOE por vibración longitudinal.

L = Largo de la tabla.

f-1 = Frecuencia de la vibración longitudinal.

g = Constante de aceleración gravitacional.

n = n° de modo = 1

p = densidad $\rho = w / (l * b * h)$ donde w : peso de la madera.

l : largo de la madera.

b : ancho de la madera.

h : altura.

Flexión estática con pesas.

Este método permite medir el módulo de elasticidad estático en flexión por carga con pesas. Ver figura N°12. Mediante la aplicación de pesas sobre la tabla en la zona elástica y la medición con un transductor de las deformaciones que se producen, se calcula el MOE según la fórmula (5).

$$E_b: (\Delta P * s^3) / (4 * \Delta y * b * h^3) \quad (5)$$

Donde: E_b = módulo de elasticidad

ΔP : carga de las pesas

S : distancia entre los apoyos de la tabla

Δy : deformación para ΔP

b : ancho

h : altura

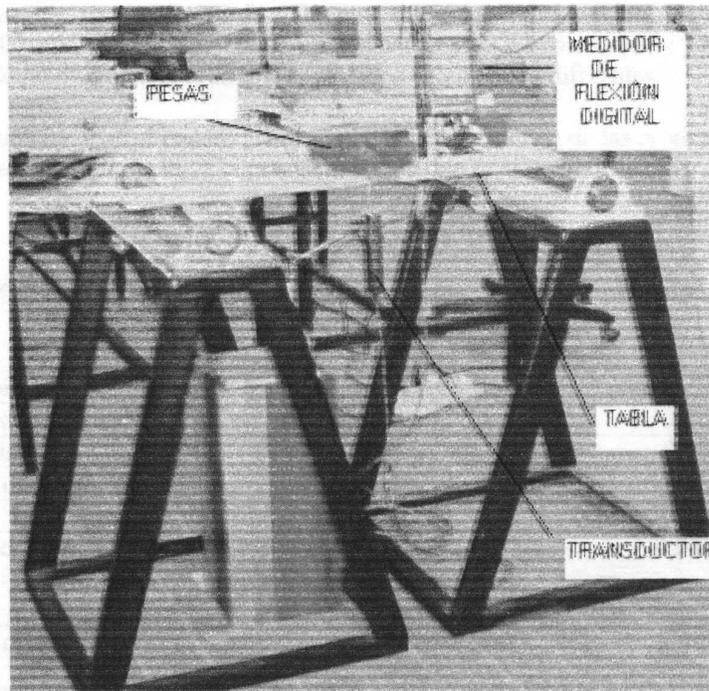


Figura N°12: Ensayo de flexión estática con pesas.

3.2.7.2. Flexión dinámica.

En la madera se determina normalmente la resistencia dinámica a través del ensayo denominado de flexión dinámica (Coronel, 1995). Este ensayo se llevó a cabo según la norma JIS Z 2116-63, la cual establece un tamaño de probeta de sección 20x20x300mm y que las mismas estén libres de defectos y nudos. Se establece que el span será de 240mm y se utilizará un péndulo ejerciendo una fuerza central de 10Kgm.

El mismo se llevó a cabo en probetas obtenidas en las alturas N°1,2 y 3. De cada troza, se preparó una probeta. Se procuró que la misma estuviera ubicada de forma bien perpendicular a los anillos de crecimiento (en sentido tangencial). En todos los casos se ensayaron las probetas en estado verde.

Adicionalmente se prepararon 44 probetas (no se obtuvieron probetas de todas las 18 trozas) con las mismas dimensiones que las indicadas en la norma JIS Z 2116-63. La mitad se utilizó para ensayar en estado verde y la otra mitad (sacadas de los mismos lugares para comparar) se llevaron a 12% de contenido de humedad para luego ensayar y poder así realizar la comparación de flexión dinámica en dos contenidos de humedad diferentes.

A continuación en el cuadro N°10 se presenta un resumen de las propiedades medidas, el instrumento para medir utilizado y la precisión con la que se efectuó la medida.

Cuadro N°10: Propiedades, instrumento para medir utilizado y precisión de las medidas realizadas.

Propiedad	Instrumento utilizado	Precisión de la medida
Contenido de humedad	Balanza	0,001 g
Densidad ^{ab}	Balanza	0,001 g
Porcentaje de duramen	Centímetro	0,1 cm
	Balanza	0,001 g
Largo de fibra	Regla centimetrada en proyector de perfiles con aumentos de X50 y X100	0,01 mm
Ancho de fibra	Calibre en microscopio con aumento X400	0,01 μ m
Diámetro de los vasos	Calibre en microscopio con aumento X100	0,01 μ m
Penetración Pilodyn	Pilodyn	0,5 mm
Módulo de elasticidad y rotura	Máquina Universal	Muy alta
	FFT Analyzer	25 Hz
	Medidor digital de la flexión	0,001 mm
Flexión dinámica	Máquina con péndulo	0,1 J

3.3. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO.

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar, con dos árboles por repetición y 3 ó 4 niveles de altura, dependiendo de la propiedad estudiada. Para el contenido de humedad, porcentaje de duramen, densidad, largo y ancho de fibra se utilizaron 4 niveles de altura. Para el caso del ensayo con Pilodyn y los ensayos mecánicos, se utilizaron 3 niveles de altura.

En el caso del contenido de humedad, densidad y largo de fibra se utilizó a su vez, un diseño factorial donde se combinaron las distintas alturas y los radios.

4. RESULTADOS Y DISCUSION.

4.1. CRECIMIENTO Y CLASIFICACIÓN VISUAL DE LAS TROZAS PROVENIENTES DEL DEPARTAMENTO DE RIVERA.

En cuanto a los datos obtenidos en el campo sobre diámetros y alturas (ver cuadro N°7), se puede ver que a pesar de presentar diferencias en diámetro, estos 30 árboles no presentan diferencias en altura. En cuanto a la base de la copa, a mayor diámetro tampoco se verifican diferencias en la altura de la copa. Se observa que los árboles de la clase III (de 41-46 cm de diámetro) presentan la base de la copa a menor altura.

Como se observa en el cuadro N°8, existe variación individual entre árboles en la altura total, en la altura comercial y en la altura de la primer rama viva y de la base de la copa.

En el cuadro N°9, según la clasificación realizada, se puede decir que las trozas basales (trozas N°1) presentan una alta probabilidad de tener trozas categoría I (mejores trozas). En el mismo cuadro se observa cómo la categoría de las trozas decrece con la altura. Las trozas N°2 (4-8 metros de altura en el árbol) fueron en su mayoría clasificadas como categoría II. Las trozas ubicadas a mayor altura en el árbol (8-12 metros de altura) fueron las peores trozas, las que presentaron mayores defectos. En cuanto a la clase diamétrica, los árboles de menores diámetros (Clase DAP I), mostraron tener trozas con más defectos que los árboles de diámetro mayores.

Se presenta así la clasificación visual de las trozas como una técnica interesante para tomar decisiones en el manejo de los montes. Utilizando técnicas silvícolas, como la poda y el raleo hay posibilidad de aumentar la calidad de la segunda y tercer troza. Otra posibilidad puede ser esperar el tiempo suficiente para que los árboles crezcan más y la segunda y tercer troza cambien de esta manera de clase de DAP.

4.2. CONTENIDO DE HUMEDAD.

4.2.1. Variación del Contenido de Humedad en el árbol.

4.2.1.1. Variación en el radio.

En los gráficos N°1-6 se pueden ver los resultados para los 6 árboles estudiados en las alturas N°1, 2 y 3.

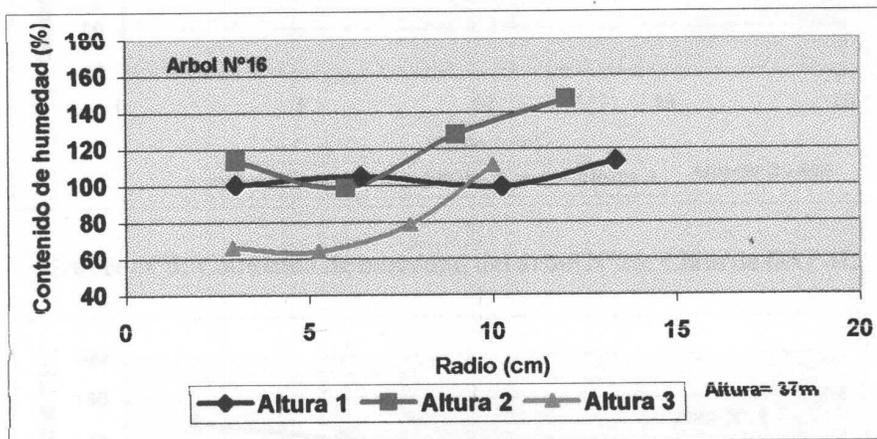


Gráfico N°1: Contenido de humedad del árbol N°16. Clase de DAP I.

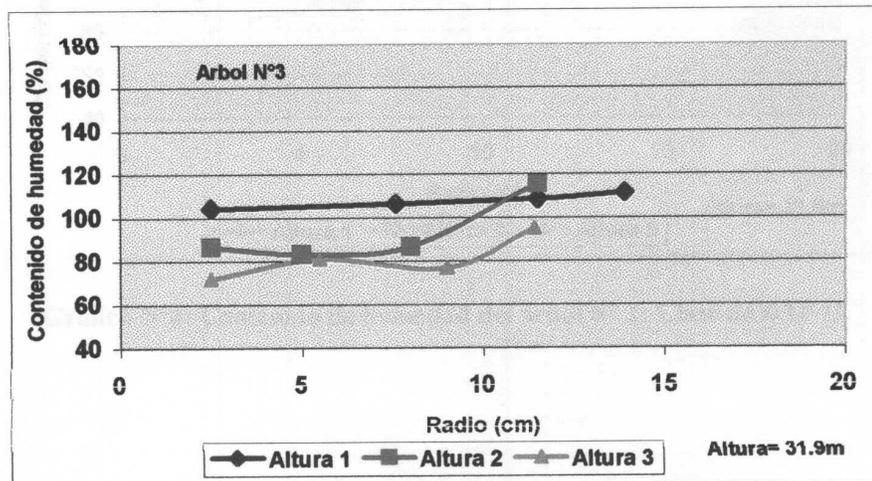


Gráfico N°2: Contenido de humedad del árbol N°3. Clase de DAP I.

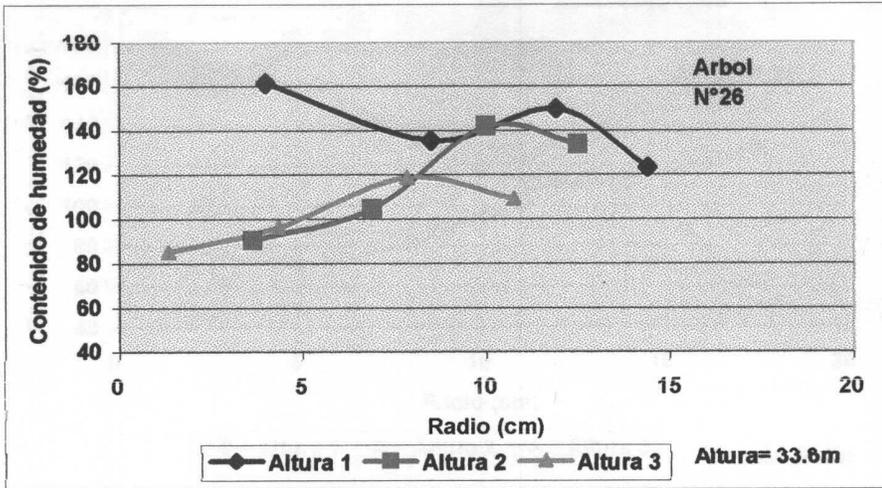


Gráfico N°3: Contenido de humedad del árbol N°26: Clase de DAP II.

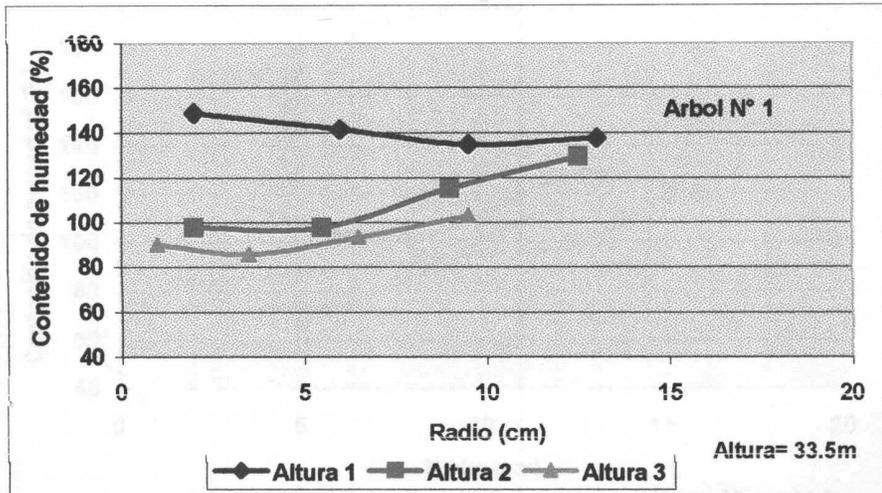


Gráfico N°4: Contenido de humedad del árbol N°1: Clase de DAP II.

Gráfico N°5: Contenido de humedad del árbol N°17: Clase de Dap III.

En los Gráficos N°1, N°6, se puede ver que el contenido de humedad (%) no mantiene ninguna tendencia clara a lo largo del radio, los algunos casos la humedad va a aumentar y en otros a disminuir a lo largo del mismo. En la generalidad de los casos, se la humedad va a disminuir (excepto de la muestra N°17), por lo tanto los mayores valores de contenido de humedad se encuentran en los

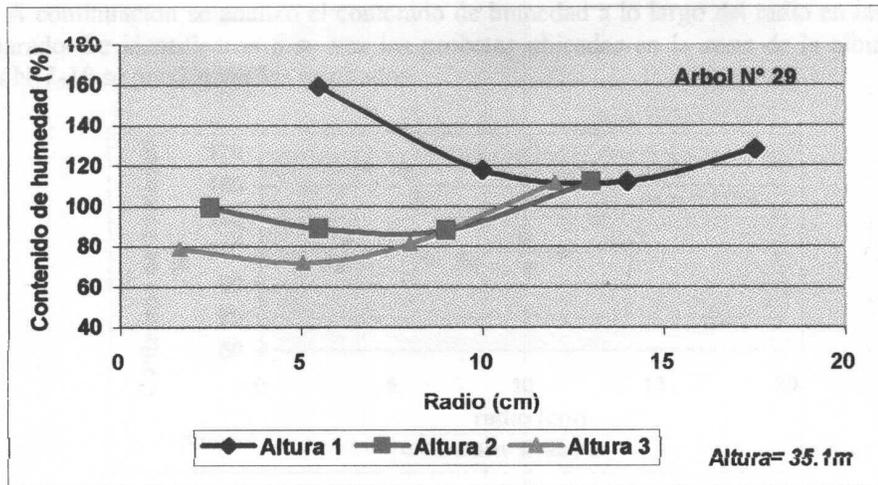


Gráfico N°5: Contenido de humedad del árbol N°29. Clase de DAP III.

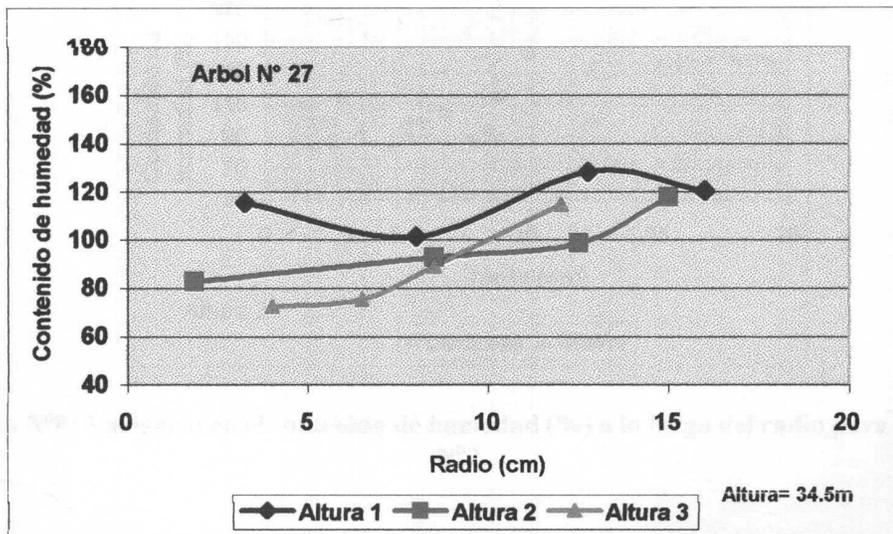


Gráfico N°6: Contenido de humedad del árbol N°27: Clase de Dap III.

En los Gráficos N°1-N°6, se puede ver que el contenido de humedad (%) no mantiene ninguna tendencia clara a lo largo del radio. En algunos casos la tendencia es a aumentar y en otros a disminuir a lo largo del mismo. En la generalidad de los casos, en la zona de la albura (cerca de la corteza) es donde encontramos los mayores valores de contenido de humedad.

A continuación se analizó el contenido de humedad a lo largo del radio en las 4 alturas por separado. Se identificaron a su vez las probetas ubicadas en la zona de la albura. En los gráficos N°7-10 se pueden ver los resultados.

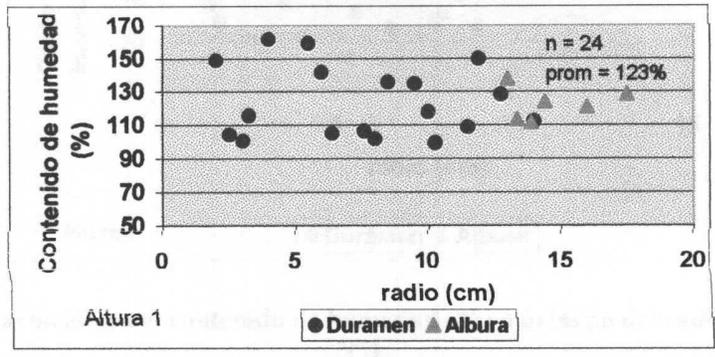


Gráfico N°7: Variación del contenido de humedad (%) a lo largo del radio en la altura N°1.

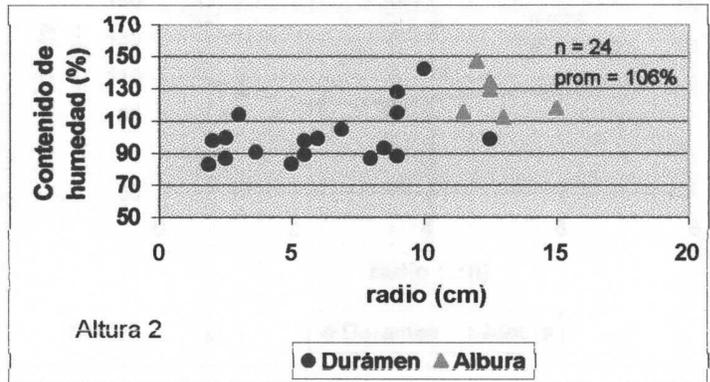


Gráfico N°8: Variación en el contenido de humedad (%) a lo largo del radio para la altura N°2.

En la zona de la albura (zona de la madera) se midieron 24 probetas. Se obtuvo un coeficiente de variación de 12,3%, con un valor mínimo de 99% y un valor máximo de 161%. El coeficiente de variación total para los dos tipos de madera fue 15%. En la altura N°2, para las 15 probetas muestreadas se obtuvo un valor de humedad promedio de 106%, con un mínimo de 85% y un valor máximo de 145%. El coeficiente de variación total fue 19%. En la altura N°3 con las 15 probetas muestreadas se obtuvo un valor promedio de 88%, un mínimo de 64% y un valor máximo de 119%. En este caso hubo una variación de 18%. En el gráfico N°10 se observa que a 20 metros de altura en el árbol prácticamente toda la madera es albura. El promedio obtenido en este caso para las 15 probetas muestreadas fue de 92%, con un valor mínimo de 64% y un valor máximo de 119%. El coeficiente de variación fue 13%.

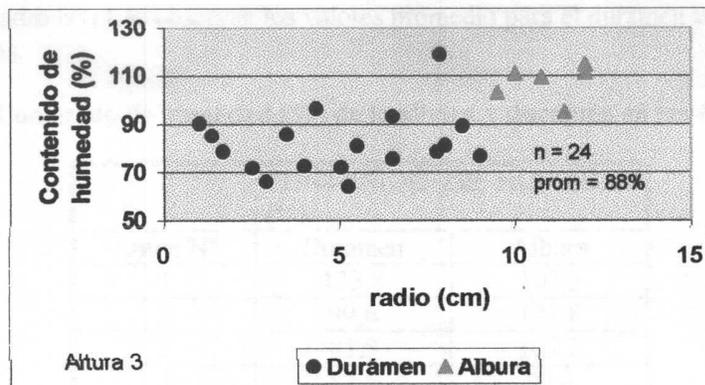


Gráfico N°9: Variación en el contenido de humedad (%) a lo largo del radio para la altura N°3.

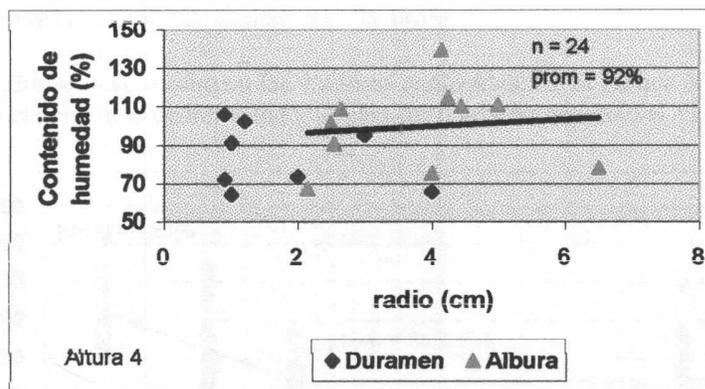


Gráfico N°10: Variación en el contenido de humedad (%) a lo largo del radio en la altura N°4.

En la altura N°1, para el total de madera (durámen y albura) se midieron 24 probetas. Se obtuvo un contenido de humedad promedio de 123%, con un valor mínimo de 99% y un valor máximo de 161%. El coeficiente de variación total para los dos tipos de madera fue 15%. En la altura N°2, para las 24 probetas ensayadas, se obtuvo un valor de humedad promedio de 106%, con un mínimo de 83 y un valor máximo de 147%. El coeficiente de variación total fue 18%. En la altura N°3 para las 24 probetas ensayadas, se obtuvo un valor promedio de 88%, un mínimo de 64% y un valor máximo de 119%. En este caso hubo una variación de 18%. En el gráfico N°10 se observa que a 29 metros de altura en el árbol, prácticamente toda la madera es albura. El promedio obtenido en este caso para las 18 probetas ensayadas fue de 92%, con un valor mínimo de 64% y un valor máximo de 139%. El coeficiente de variación fue 23%.

En el cuadro N°11 se observan los valores promedio para el duramen y la albura en las 4 alturas analizadas.

Cuadro N°11: Contenido de humedad (%) de la albura y duramen en las 4 alturas.

Altura N°	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	
	Duramen	Albura
1	123,8	122,3
2	99,6	125,8
3	81,9	107,2
4	83,6	99,3

En el cuadro N°11, se observa que en la generalidad de los casos, el contenido de humedad de la albura es mayor que el del duramen a lo largo del árbol.

4.2.1.2. Variación del contenido de humedad en la altura.

Este estudio se llevó a cabo en las 4 alturas analizadas. En la gráfica N°11 se pueden ver los resultados en el contenido de humedad (%) para los 6 árboles estudiados a lo largo del fuste.

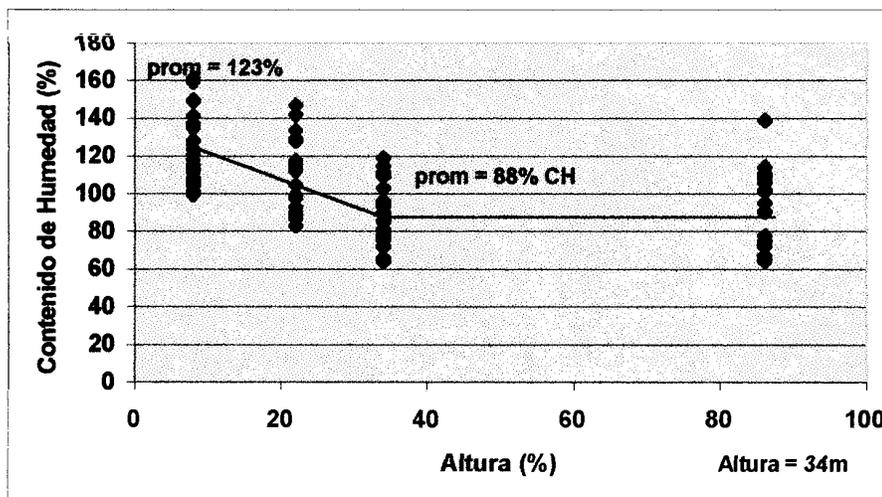


Gráfico N°11: Contenido de humedad (%) según la altura promedio.

En el gráfico N°11 se observa que la humedad disminuye en el primer tramo, desde los 3 metros (correspondiente a la ubicación del primer disco), donde el contenido de humedad promedio es 123% hasta los 11 metros de altura (ubicación del disco N°3, 34% de la total de la altura), donde la humedad es de 88%. En la gráfica se toma la altura total (34 metros) como la

altura promedio de los seis árboles muestreados. En este tramo la humedad disminuye 35% (123-88). En la gráfica se observa que luego la curva de humedad se hace constante hasta un 86% de altura total, correspondiente a los 29 m de altura. Estos datos coinciden con los datos obtenidos por Purnell, R.C (1988).

Por lo tanto, se puede decir a partir de este estudio realizado en 6 árboles, que el contenido de humedad disminuye con la altura. A 29 metros en el árbol (altura N° 4) a pesar de que el contenido de humedad es menor, se vió que casi toda la madera es albura.

En el cuadro N°12 se presenta la información del contenido de humedad a lo largo del radio y de la altura en los 6 árboles. La distancia a la médula a la cual se marcaron las probetas varía a cada altura.

Cuadro N°12: Contenido de humedad (%) según ubicación en el radio y según la altura en el árbol.

		Ubicación en el radio (cm)			
		2,34	5,45	8,47	12,79
	ALTURA (m)	Contenido de humedad (%)			
N° 1	2,72	131	118	122	122
N° 2	7,5	95	94	110	126
N° 3	11,5	77	79	89	107
N° 4	29	85	88	104	

4.2.2. Relación entre el contenido de humedad y la velocidad de crecimiento en diámetro.

Se hizo el estudio individual de los seis árboles agrupados en las tres clases de DAP (33-36 cm, 37-40 cm, 41-46 cm). En el gráfico N°12 se observan los resultados. Dicho estudio se realizó en las alturas N°1, 2 y 3.

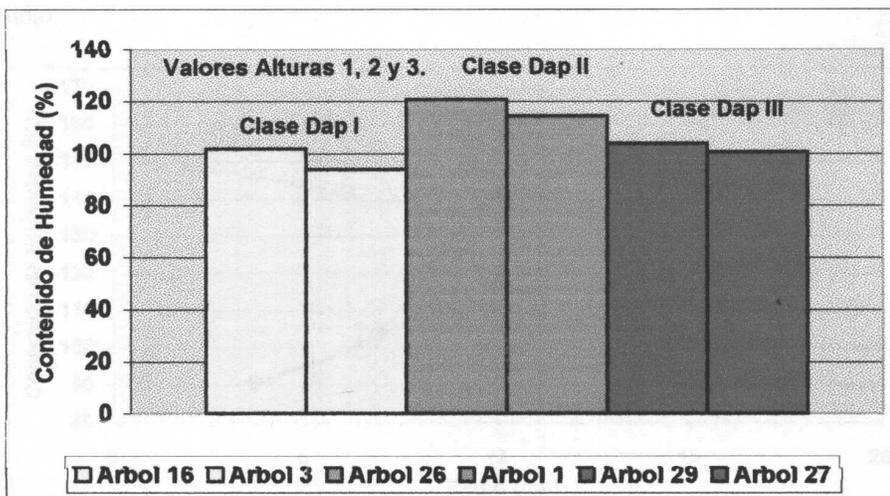


Gráfico N°12: Contenido de humedad (%) promedio individual y por clase de diámetro.

En el gráfico N°12 se observa que no hay diferencia ($P < 0,01$) en el contenido de humedad promedio entre las clases de diámetro. No hay por lo tanto relación entre el contenido de humedad promedio del árbol y la velocidad de crecimiento.

4.2.3. Patrones de contenido de humedad.

A partir del estudio realizado sobre la variación radial y longitudinal del contenido de humedad en los 6 árboles del departamento de Rivera, se encontraron diferentes patrones de variación en el contenido de humedad a lo largo del radio: desde la médula hasta la corteza.

En el gráfico N°13, se presentan cuatro patrones diferentes de humedad encontrados en este estudio.

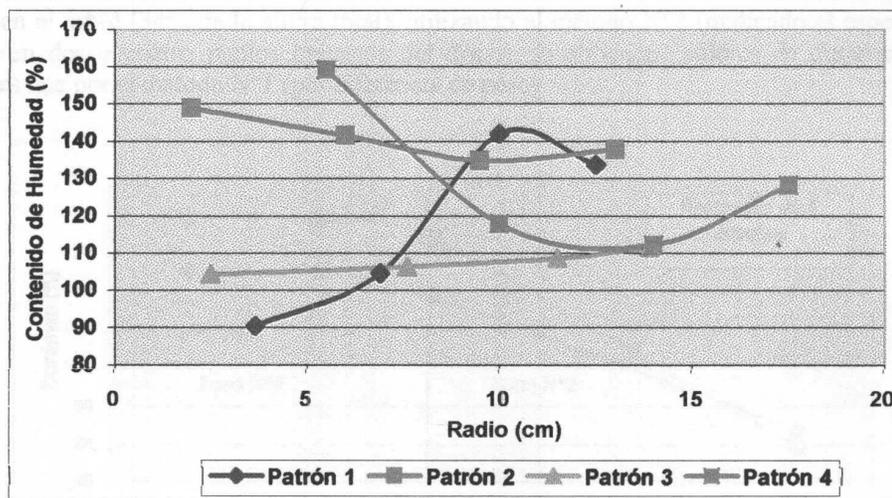


Gráfico N°13: 4 patrones de contenido de humedad encontrados a partir de 6 árboles.

En el gráfico N°13 se observan diferentes patrones de variación del contenido de humedad en el radio encontrados en este trabajo. Dado que este estudio se basó en muy pocos árboles (6), sería interesante continuar estudiando la variación de esta propiedad en más individuos.

En la industria, al secar la madera se mezclan tablas obtenidas de diferentes árboles, a distinta altura. Esta variación observada en los patrones de contenido de humedad puede ayudar a explicar las dificultades para secar al *Eucalyptus* y entender la gran variación en el contenido final de humedad de las tablas luego del proceso de secado.

4.3. PORCENTAJE DE DURAMEN.

4.3.1. Variación en el árbol.

Para realizar este estudio se utilizaron dos métodos diferentes: por peso y por medida. Los mismos se explican en detalle en el capítulo 3.

En la gráfica N°14, se puede observar la tendencia general en el porcentaje de duramen a lo largo del fuste. En cuanto a la diferencia en los dos métodos utilizados, hasta los 11 metros de altura en el árbol (34% de la altura total), utilizando el método N°2 (midiendo el espesor de la albura en dos o cuatro puntos opuestos del disco), se obtienen valores de duramen 18.5% mayores que por el método N°1 (por diferencia de peso).

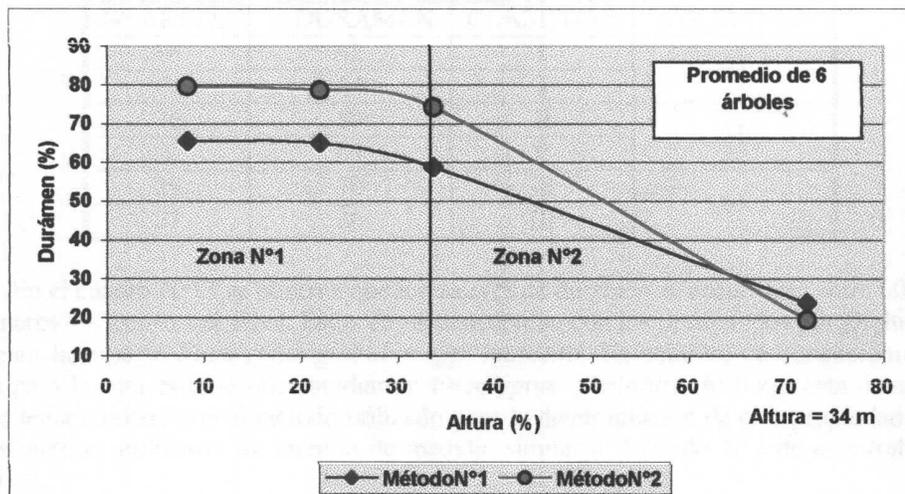


Gráfico N°14: Porcentaje de duramen según altura (% altura).

Según los resultados observados en el gráfico N°14, el mismo se dividió en dos zonas: N°1 y N°2. Hasta los 11 metros de altura en el árbol (18 mediciones realizadas), se obtuvo en promedio, una albura de 3.5 centímetros de ancho en promedio con un rango entre los 2.5 y 4.8 centímetros. Se observó que el duramen está presente en los 6 árboles estudiados, hasta un 70% de la altura total.

En el gráfico N°14, se puede ver que hay una clara disminución en el porcentaje de duramen con la altura. En promedio, en el primer tramo de la curva (entre 3 y 7m de altura aproximadamente) hay una disminución de 1% en el porcentaje de duramen. Dicha disminución es de 7% entre los 7 y los 11 m de altura y de 68% entre los 11 y los 25 m. La diferencia es significativa en este último caso ($P < 0,01$). Hasta los 11 m de altura en el árbol (Zona N°2), se puede afirmar que no hay diferencia en el porcentaje de duramen.

En cuanto a lo observado en la mitad de la copa del árbol (29 m de altura), ésta gran diferencia en el porcentaje de duramen a dicha altura, puede estar relacionado a la edad del tejido en formación. Es posible que a esa altura en el árbol todo el tejido sea albura, que todavía no se haya dado el proceso de duraminización. Este resultado es consistente con la conclusión a la que llega Wilkins, 1991. Los datos también son consistentes con los estudios realizados por Rodríguez et al. 2001.

En el cuadro N°13 se presentan los datos promedios obtenidos de porcentaje de duramen. Se utilizaron los valores obtenidos por el método N°1.

Cuadro N°13: Porcentaje de duramen (%) hasta los 11 metros de altura en el árbol individual y agrupado por clase diamétrica.

N° ÁRBOL	% DURAMEN	CLASE DAP	% DURAMEN
16	62	I	63
3	64	I	
26	59	II	61
1	63	II	
29	70	III	65
27	60	III	

En el cuadro N°13 se observa que los valores de duramen se encuentran entre 60-70% en los primeros 11 metros del árbol. Estos datos concuerdan con los presentados por Dighiero et al. 1996 para la especie *Eucalyptus globulus spp. maidenii*. En cambio, no concuerdan con los valores para la otra especie que estudiaron: *Eucalyptus viminalis*. Al hacer esta comparación hay que tener cuidado con el método utilizado para la determinación de esta propiedad. En este caso los autores utilizaron un método de medida, similar al Método N°2 de este trabajo (ver capítulo 3).

Por lo tanto al determinar el porcentaje de duramen es muy importante ver qué método se está utilizando ya que puede haber diferencias según el método utilizado.

4.3.2. Relación entre el porcentaje de duramen y la Velocidad de crecimiento.

Como se puede ver en el cuadro N°12, no se encontró diferencia significativa ($P < 0,01$) entre los valores de porcentaje de duramen promedio para las distintas clases de DAP. No parece por lo tanto, haber relación entre la velocidad de crecimiento en diámetro y el porcentaje de duramen, por lo menos en árboles de hasta 46 centímetros de DAP. Estos resultados no concuerdan con lo afirmado por Wilkins, 1991.

A partir de este estudio realizado en 6 árboles de *E. grandis* no se encontró relación entre la velocidad de crecimiento en diámetro y el porcentaje de duramen. En el futuro habría que ensayar mayor número de árboles.

4.4. DENSIDAD APARENTE BÁSICA (densidad ab).

4.4.1. Variación en el radio.

Se estudió la variación de la densidad a lo largo del radio en las 4 alturas analizadas. En el gráfico N°15 se muestran los resultados obtenidos.

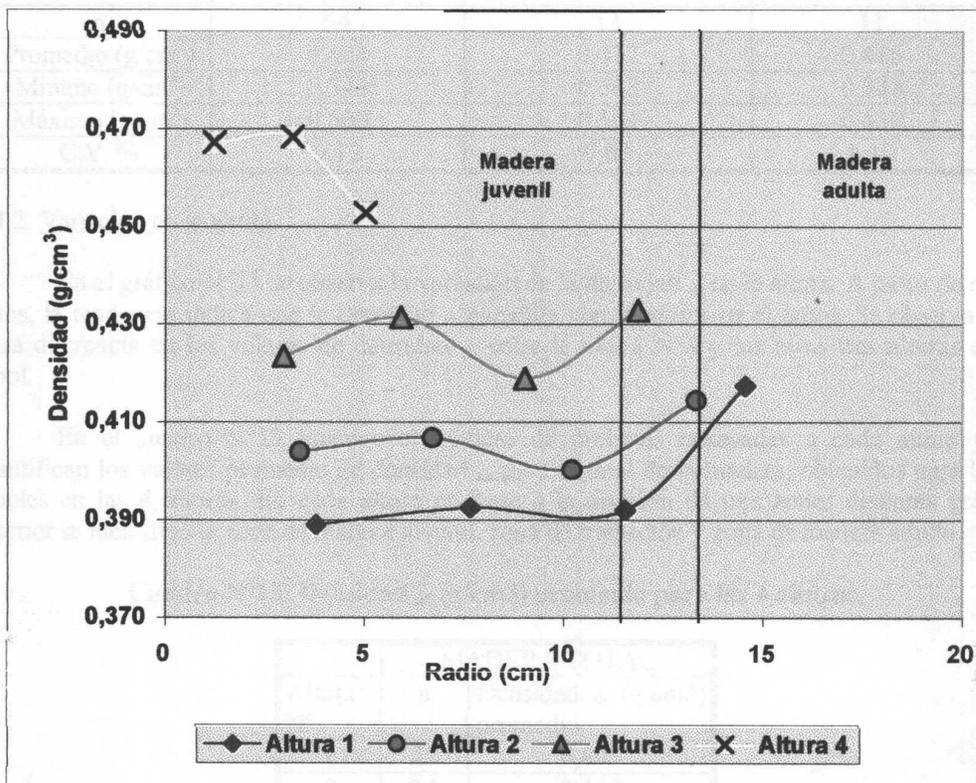


Gráfico N°15: Densidad ab (g/cm^3) según ubicación en el radio.

En el gráfico N°15 se observa que la densidad ab , varía desde la médula hasta la corteza en las 4 alturas estudiadas. El patrón de variación radial es similar en todas las alturas. A partir de las curvas correspondientes a las alturas N°1 y N°2, se llegó a dividir el patrón de variación radial en 3 zonas: una primera zona donde la densidad permanece con pequeñas oscilaciones casi constante, una zona de transición y una tercer zona donde la densidad aumenta en forma constante. Podría llegar a tratarse de dos tipos distintos de madera: juvenil y adulta. La zona de transición estaría entre los 11-13 centímetros en el radio. Dada la tendencia de variación radial observada en la altura N°4 se supone que a esa altura toda la madera es juvenil.

De acuerdo a la identificación anterior de 3 zonas distintas, se realizó el cuadro N°14.

Cuadro N°14: Densidad _{ab} según tipo de madera.

	MADERA JUVENIL	MADERA DE TRANSICIÓN	MADERA ADULTA
n	64	12	11
Promedio (g/cm ³)	0,424	0,412	0,416
Mínimo (g/cm ³)	0,343	0,363	0,348
Máximo (g/cm ³)	0,500	0,501	0,459
C.V. %	9,12	9,63	8,10

4.4.2. Variación en la altura.

En el gráfico N°15 se observa la variación de la densidad _{ab} en la altura. A partir de estos datos, la tendencia indica que la densidad _{ab} aumenta con la altura en el árbol. Se observa una clara diferencia en los valores de densidad _{ab} entre la altura N°4 y las otras tres alturas en el árbol.

En el cuadro N°15 aparece el número de probetas ensayadas a cada altura y se cuantifican los valores promedio de densidad _{ab} para el total de la madera, obtenidos para los 6 árboles en las 4 alturas. En cada altura en base a la división de tres zonas distintas gráfico anterior se identificó la zona de madera juvenil, zona de transición y zona de madera adulta.

Cuadro N°15: Densidad _{ab} (g/cm3) promedio para las 4 alturas.

Altura N°	MADERA TOTAL	
	n	Densidad _{ab} (g/cm3) promedio
1	22	0,405
2	24	0,409
3	23	0,429
4	17	0,464

En el cuadro N°15 se observa que el valor de densidad _{ab} para el total de la madera (incluyendo la madera juvenil y la madera adulta) aumenta con la altura.

Estos datos concuerdan con los presentados por Rodríguez, 2001 quien llegó a concluir que la altura es un factor significativo de variación ($P < 0,001$). El mismo autor cita a Wilkes, 1988 quien afirma que esta es una tendencia general en los *Eucalyptus*, donde la densidad aumenta con la altura, a veces después de una caída inicial en la densidad.

4.4.3. Relación entre la densidad_{ab} y la velocidad de crecimiento.

Para realizar este estudio se buscó el valor promedio de densidad_{ab} para cada árbol. A partir de ahí se agruparon los árboles de a pares, en las clases definidas previamente por DAP (33-36 cm, 37-40 cm y 41-46 cm).

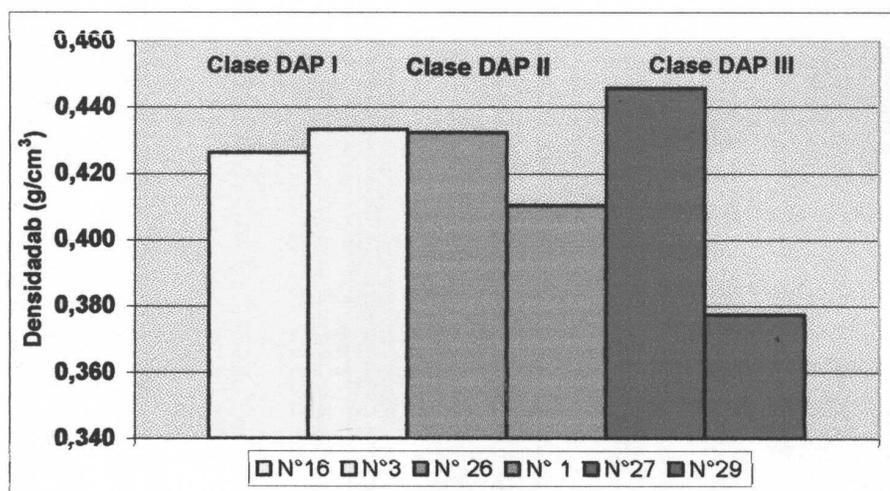


Gráfico N°16: Densidad_{ab} promedio (g/cm³) según clase de DAP.

En el gráfico N°16 se observa por un lado la variación individual de densidad_{ab} en los 6 árboles y por otro lado la variación entre las tres clases de DAP. Se destacan los bajos valores obtenidos para el árbol N°29 con un valor mínimo, promedio y máximo de 0,343 - 0,377 - 0,477 g/cm³ respectivamente, con respecto al árbol N°27 (0,408-0,446-0,539 g/cm³) de su misma clase diamétrica. Los árboles pertenecientes a la clase de DAP I, fueron los que mostraron menor variación dentro de la clase presentando el árbol N°16 valores mínimo, promedio y máximo de 0,383 - 0,426 - 0,553 g/cm³ respectivamente y el árbol N°3 (0,395 -0,433 - 0,549). En cuanto a la relación en la densidad_{ab} con la velocidad de crecimiento, para este análisis se dejó de lado el árbol N°29, ya que el mismo tuvo un valor excepcionalmente bajo, no se considera representativo de los árboles de clase de DAP III.

Se observa en el gráfico N°16 que no hay una relación clara entre la densidad_{ab} y el crecimiento en diámetro. Estos resultados concuerdan con lo afirmado por Wilkins, 1989 y Wright, 1993.

A partir de estos 6 árboles del departamento de Rivera estudiados se puede decir que hay posibilidad en *E. grandis* de que al aumentar la velocidad de crecimiento diametral hasta 46 centímetros de diámetro, ya sea por prácticas como la fertilización, el control de malezas, y el raleo, no disminuya la densidad_{ab}. En este estudio se observa a su vez, que la variación individual en la densidad parece más importante que la variación en la velocidad de crecimiento.

Se destaca de esta manera la importancia del material genético del cual se parte, esto es, de la elección de la fuente de semilla.

4.4.4. Comparación de los resultados obtenidos según 2 métodos utilizados para el cálculo de la densidad ab .

En este ensayo se buscó comparar los valores de densidad obtenidos por el método de inmersión en agua y el método de "Infradensidad o Máximo Tenor de Humedad". Para el mismo se obtuvieron cuatro probetas a lo largo del radio (desde la médula hasta la corteza) para las alturas N°1, 2 y 3 y tres probetas en el caso de la altura N°4. La finalidad fue llegar a determinar si se puede utilizar el método de Infradensidad que ya ha mostrado tener buena correlación con la densidad ab para hacer estudios en todas partes del fuste: en madera juvenil y en madera adulta. Según Scaramuzzi, 1966 citado por Centurión, et al. 1995, la Infradensidad se trata de un método más rápido y de más fácil ejecución frente a otros métodos de determinación de la densidad ab , como ser el Método Hidrostático.

En el gráfico N°17 se pueden ver los resultados obtenidos.

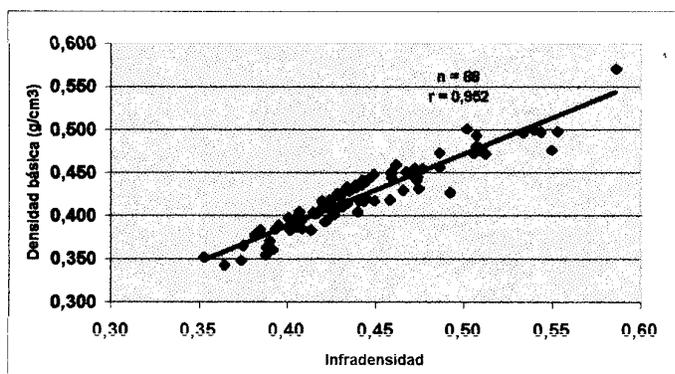


Gráfico N°17: Correlación entre 2 métodos de cálculo de densidad básica.

En el gráfico N°17 se observa que la correlación entre los dos métodos a partir de las 88 probetas ensayadas es muy alta (0,952). En promedio, los valores fueron 4,5% superiores mediante el método de Infradensidad que en el método de inmersión en agua. Cabe resaltar la confiabilidad del método de Infradensidad para evaluar la calidad de la madera, tanto de madera juvenil, como adulta a lo largo de todo el fuste. Parece interesante por lo tanto su utilización en los programas de mejoramiento genético donde se hace necesario trabajar con una gran cantidad de muestras. Es necesario en estos casos utilizar un método sencillo como el de Infradensidad que a bajo costo permite trabajar de manera rápida realizando únicamente dos pesadas: en estado saturado y en estado anhidro.

4.5. ESTUDIOS ANATÓMICOS.

Este estudio se llevó a cabo en dos localidades: Rivera y Paysandú.

4.5.1. Largo de fibra.

A la hora de evaluar la calidad de la madera y especialmente de la pulpa, el largo de fibra es una de las propiedades más importantes. Es por lo tanto importante conocer y estudiar su variabilidad dentro del árbol; tanto en la altura como en el radio y ver la variabilidad entre árboles. De la variación en la longitud de las fibras desde la médula hasta la corteza, podemos tener información del límite entre la madera juvenil y la madera adulta.

A continuación se presenta un histograma donde se pueden observar los resultados obtenidos para el total de las mediciones de fibra efectuadas. En este ensayo, en los 6 árboles de 16 años del departamento de Rivera, se estudió con mayor detalle la troza basal (Altura N°1), donde se sacaron 7 probetas a lo largo del radio. En las trozas correspondientes a las alturas N°2, 3 y 4 se estudiaron tres puntos en el radio. En total se midieron 30 fibras por probeta (96 probetas en total a partir de 6 árboles); lo que totaliza 2880 fibras, con valores entre 0.58 y 1.15 milímetros, con una media de 0.88. El coeficiente de variación fue de 14%.

Del departamento de Paysandú se obtuvieron 2 trozas de 35cm de diámetro y 35 cm de largo basales. En este caso se obtuvieron probetas en 7 puntos diferentes del radio. El promedio de largo de fibra para las 420 fibras medidas fue de 0.83 milímetros, con un valor máximo de 1.086 y un mínimo de 0.449. El coeficiente de variación fue 20%.

En el gráfico N° 18 se puede ver la frecuencia relativa de fibras para el total de las mediciones efectuadas en los dos departamentos.

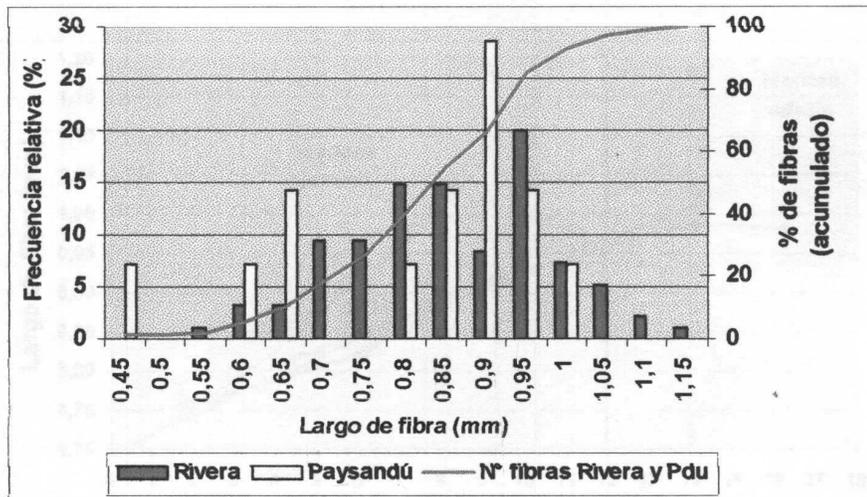


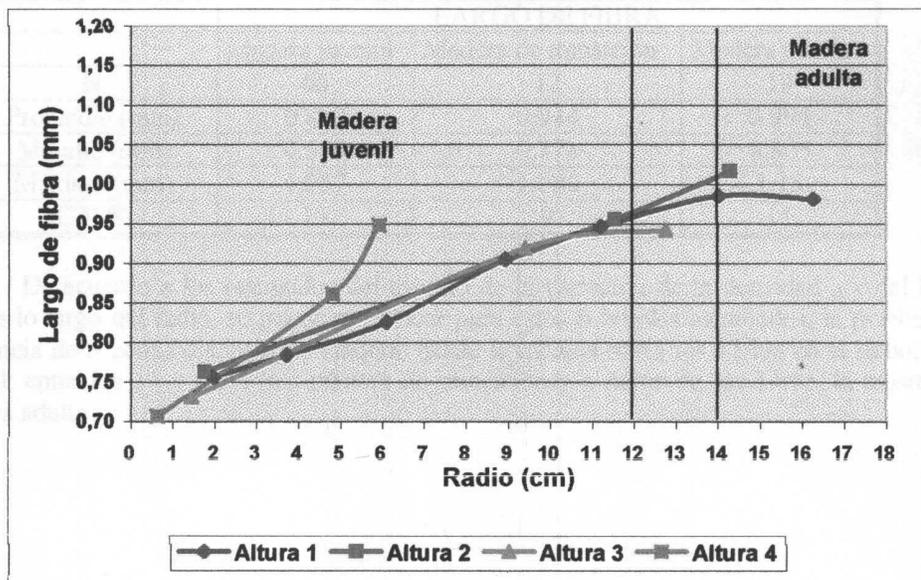
Gráfico N°18: Frecuencia de distribución del largo de fibra (mm) para el total de mediciones realizadas en Rivera y Paysandú. Porcentaje de fibras acumulado.

En el gráfico N°18 se observa que en Rivera el largo de fibra más frecuente se encuentra entre 0.9 y 0.95 milímetros, mientras que en Paysandú se encuentra entre 0.85 y 0.9 milímetros.

Estos valores de largo de fibra no coinciden con los datos presentados por Soria, 1979. Tampoco coinciden con los datos presentados por Backman y García de Leónl 1998. Hay que tener en cuenta que en estos trabajos se estudian árboles de la misma especie, pero de menor edad. A su vez, puede haber diferencias de sitio entre Tacuarembó, Rivera, Paysandú y Río Negro.

4.5.1.1. Variación en el radio.

En el gráfico N° 19 se presentan los datos de largo de fibra en distintos puntos del radio en las cuatro alturas estudiadas en los seis árboles del departamento de Rivera.



Gráfica N° 19: Largo de fibra (mm) según ubicación en el radio (cm).

En el gráfico N°19 se observa que el largo de fibra aumenta a lo largo del radio en las cuatro alturas estudiadas. Según la tendencia de las distintas curvas, se puede afirmar que se distinguen dos zonas: una donde el largo de fibra aumenta y otra donde el largo de fibra tiende a hacerse constante. Estas dos zonas podrían corresponder a madera juvenil y a madera adulta. Como se señala en el gráfico N°19, el límite entre la madera juvenil y la adulta se encuentra entre los 12-14 centímetros. Ya que se supone que el pasaje de uno a otro tipo de madera no es abrupto, se establece por lo tanto un límite de 2 cm entre uno y otro tipo de madera.

Dada la tendencia observada en el largo de fibra en la altura N°4, donde el largo de fibra va aumentando a lo largo del radio, se considera que a esa altura en el árbol (29 metros), toda la madera es juvenil. Esto coincide con los resultados de densidad ^{ab}.

Tanto Downes, *et al*, 1997; como Bhat *et al*, 1990 citan esta variación en el largo de fibra a lo largo del radio en *Eucalyptus spp*. Haciendo la misma división de zonas homogéneas en el largo de fibra a lo largo del radio que hace Downes *et al*, en el presente trabajo se encontró que la diferencia de valores entre esas mismas zonas fue de 13.5% y 8.5% respectivamente.

Por lo tanto se observa en *Eucalyptus grandis* que hay una tendencia a aumentar el largo de fibra a lo largo del radio, para luego hacerse constante hacia la zona de la corteza. De acuerdo a este patrón de variación radial, se pueden clasificar dos tipos de madera: juvenil y adulta. En el

cuadro N°16 se resumen los valores obtenidos para el largo de fibra según los distintos tipos de madera.

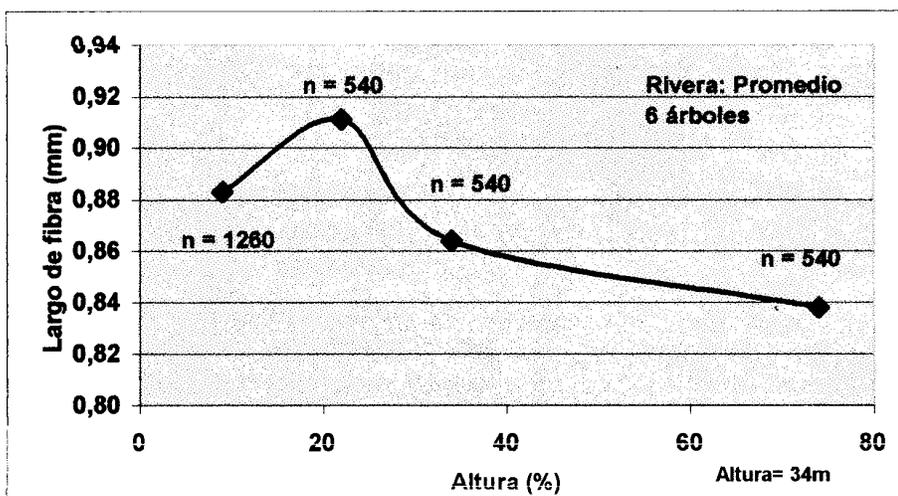
Cuadro N°16: Largo de fibra (mm) según tipo de madera.

	LARGO DE FIBRA		
	Madera juvenil	Madera de transición	Madera adulta
N	66	12	18
Promedio (mm)	0,832	0,944	0,994
Mínimo (mm)	0,579	0,773	0,805
Máximo (mm)	1,057	1,086	1,15
C.V %	13	9	11

De acuerdo a los resultados del estudio de la variación de la densidad^{ab} y del largo de fibra a lo largo del radio, se puede establecer para estos 6 árboles estudiados, la posibilidad de existencia de 3 zonas distintas de madera: desde la médula hasta los 11 cm en el radio, madera juvenil; entre los 11 y los 14cm madera de transición y a partir de los 14cm, la existencia de madera adulta.

4.5.1.2. Variación en la altura.

Este estudio se hizo a partir de los seis árboles obtenidos del departamento de Rivera. En el gráfico N°20 se presentan los datos donde se observa la variación en el largo de fibra en las 4 alturas.



Gráfica N° 20: Largo de fibra (mm) según % de altura en el árbol.

En el gráfico N°20 se pueden ver los datos promedio incluyendo madera juvenil y madera adulta para los 6 árboles estudiados a las 4 alturas (en promedio 9, 22, 34 y 74% de la altura total, lo que equivale a 3, 7,5, 12 y 25m de altura). Se observa que el largo de fibra alcanza su máximo entre los 20-22% de la altura, para luego disminuir hacia el ápice. Se obtuvo una disminución en el largo de fibra de 8% entre las fibras muestreadas a 20 y a 80% de la altura total. Esta diferencia es significativa ($P < 0,01$).

Esta tendencia concuerda con los datos presentados por Downes *et al.* 1997 y por Bhat *et al.* 1990. Soria, 1979 también observó variación longitudinal en el largo de fibra de *Eucalyptus grandis*.

Por lo tanto, para el caso de estos 6 árboles del departamento de Rivera, se pudo encontrar la misma tendencia de variación longitudinal en el largo de fibra que la encontrada en otros trabajos. El largo de fibra disminuye con la altura hacia el ápice, zona donde se encuentra mayor proporción de madera juvenil y por lo tanto de fibras más cortas.

4.5.1.3. Largo de fibra y velocidad de crecimiento en diámetro.

A continuación se hizo el análisis del largo de fibra promedio (incluyendo madera juvenil y madera adulta), para cada categoría de diámetro. En el cuadro N°17 se presentan los resultados.

Cuadro N°17: Largo de fibra (mm) según clase de diámetro.

LARGO DE FIBRA (mm)	Clase DAP I	Clase DAP II	Clase DAP III
Promedio	0,926	0,860	0,901
Mín	0,621	0,682	0,579
Max	1,150	1,094	1,131
C.V.%	13	14	14

En el cuadro N°17 se puede ver que no se encontró una relación clara entre el largo de fibra y la velocidad de crecimiento diametral. Estos resultados indican que se pueden llevar a cabo en el monte prácticas silviculturales tendientes a aumentar el crecimiento en diámetro hasta 46 cm y que de todos modos el largo de fibra no se va a ver afectado. Esto es importante para la calidad final de la madera, especialmente en la producción de pulpa, ya que se asocia directamente el largo de fibra con propiedades del papel como ser la resistencia al rasgado.

4.5.1.4. Comparación del largo de fibra en 2 sitios.

En el cuadro N°18 se presentan los datos para las dos localidades estudiadas: Rivera y Paysandú.

Cuadro N°18 : Información del largo de fibra (mm) en Rivera y Paysandú.

	RIVERA 12 años	PAYSANDÚ 10 años
Largo de fibra	Madera Total	Madera total
Promedio (mm)	0,88	0,83
Mínimo (mm)	0,58	0,44
Máximo (mm)	1,15	1,086
C.V %	14	20

Se encontraron diferencias ($P < 0,01$) en el largo de fibra entre las muestras del departamento de Rivera y Paysandú. El largo de fibra fue 6% mayor en Rivera que en Paysandú. Dado que las muestras provienen de plantaciones de diferente edad, no se puede afirmar que la diferencia encontrada sea debida únicamente a diferencias de sitio.

4.5.2. Ancho de fibra.

Este estudio se llevó a cabo en 3 árboles del departamento de Rivera (en un árbol de cada clase de diámetro) y en los 2 árboles del departamento de Paysandú. Por lo tanto se midió el ancho de 540 fibras de Rivera y 120 fibras en el caso de Paysandú.

El promedio de ancho de fibra para las 540 fibras medidas del departamento de Rivera fue de 17,86 micras, con un valor mínimo de 14,38 y un valor máximo de 22,38 micras. El coeficiente de variación fue 12%. En el caso de Paysandú, el promedio para la madera total obtenido para las 120 fibras medidas fue 18,31 micras; con un valor mínimo de 14,50 y un valor máximo de 19,98 micras. El coeficiente de variación fue de 7%.

4.5.2.1. Variación en el radio.

A partir de los 3 árboles del departamento de Rivera, se hizo el estudio de la variación del largo de fibra en el radio (desde la médula hasta la corteza). En el gráfico N°21 se pueden ver los resultados.

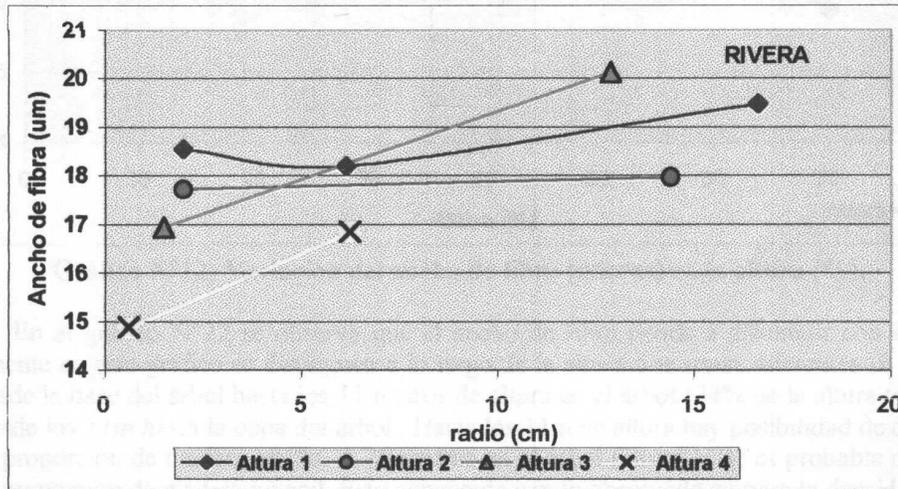


Gráfico N°21 : Variación del ancho de fibra (micras) a lo largo del radio.

En el gráfico N°21 se observa que el ancho de fibra aumenta a lo largo del radio, desde la médula a la corteza en las 4 alturas. Hay diferencia en el ancho de fibra en la zona cercana a la médula y en la zona de la corteza ($P < 0,1$) en las alturas N°3 y 4 del árbol. Por otra parte se observan diferencias entre las alturas N°1, 2 y 3 y la N°4, la cual presenta menores valores de ancho de fibra.

4.5.2.2 Variación en la altura.

A continuación se pueden ver los resultados del estudio sobre la variación del ancho de fibra en la altura del árbol.

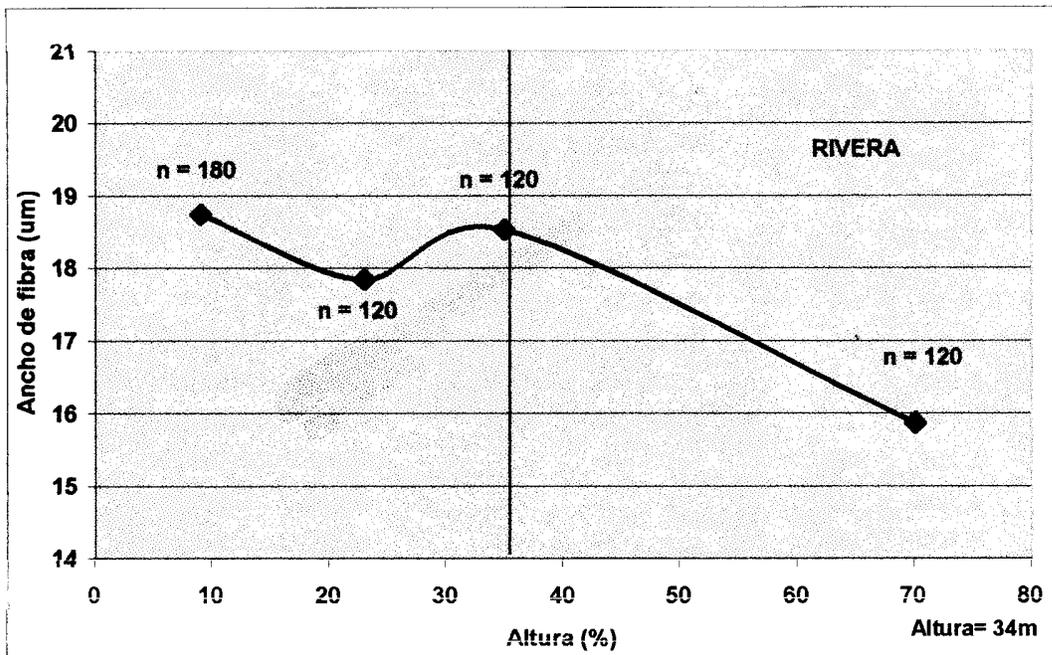


Gráfico N°22: Variación del ancho de fibra (micras) en la altura (%).

En el gráfico N°22 se observa que el ancho de fibra tiende a disminuir con la altura. Claramente en este gráfico se distinguen a lo largo de la altura dos zonas diferentes ($P < 0,05$): una desde la base del árbol hasta los 11 metros de altura en el árbol (34% de la altura total) y la otra desde los 11 m hasta la copa del árbol. Hasta los 11 m de altura hay posibilidad de que haya mayor proporción de madera adulta. A 29 metros en el árbol (altura N°4) es probable que haya mayor proporción de madera juvenil. Esto concuerda con lo observado en para la densidad ab y el largo de fibra.

4.5.2.3. Diferencias de sitio.

En el cuadro N°19, se pueden ver los valores de ancho de fibra obtenidos en las dos localidades estudiadas.

Cuadro N°19 : Ancho de fibra (micras) en Rivera y Paysandú.

	RIVERA (12 AÑOS)	PAYSANDÚ(10 AÑOS)
Ancho de fibra (micras)	Madera total (micras)	Madera Total (micras)
Promedio	17,86	18,31
Mínimo	14,38	14,50
Máximo	22,38	19,98
C.V. %	12	7

Se encontró que el ancho de fibra es mayor en Paysandú que en Rivera. ($P < 0.01$). Como se dijo anteriormente, dado que las muestras provienen de plantaciones de distinta edad, no se puede decir que la diferencia se deba únicamente a diferencias de sitio.

Estos valores de ancho de fibra (tanto de Rivera como de Paysandú) son mayores que los citados en el trabajo de Soria, 1979. Esto puede deberse a que los árboles utilizados en este trabajo (12 y 10 años respectivamente) son de mayor edad que los utilizados por Soria.

4.5.3. Diámetro de los vasos.

Este estudio se llevó a cabo únicamente en los árboles del departamento de Rivera. El mismo se llevó a cabo en un solo árbol (N°27, perteneciente a la clase de Dap III) y a una sola altura (N°2), escogidos ambos al azar. El mismo consistió en medir 20 vasos en cada una de las tres posiciones en el radio, lo que totalizó unos 60 vasos. Las medidas se tomaron en el corte transversal de la probeta. Se efectuaron a su vez dos medidas por vaso: una en sentido tangencial y la otra en sentido radial.

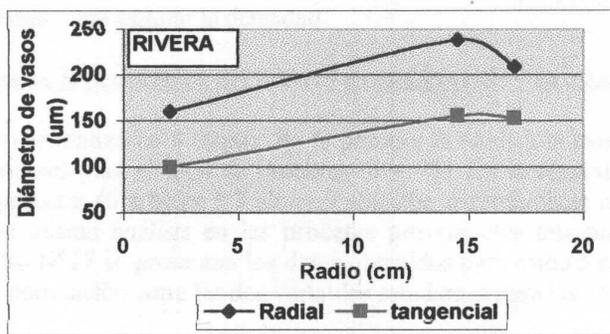


Gráfico N°23: Arbol N°27: Diámetro de los vasos (um) medido en 2 direcciones.

A partir de las 120 mediciones efectuadas, se obtuvo para la probeta ubicada más próxima a la médula un promedio: diámetro radial = 160 micras y diámetro Tangencial = 100 micras. El promedio para la probeta ubicada más cercana a la corteza fue de: diámetro radial = 209 micras y diámetro tangencial = 153 micras.

Así como en otras especies de porosidad difusa, se observó que en *Eucalyptus grandis*, el diámetro de los vasos es mayor en sentido radial que transversal. A su vez se observaron diferencias en el ancho de los vasos en la zona de la médula y en la zona de la corteza.

4.6. ENSAYO DE PENETRACIÓN MEDIANTE EL USO DE PILODYN.

El objetivo de este ensayo fue encontrar la variación radial y longitudinal en la penetración con Pilodyn y ver si se puede utilizar este instrumento en *Eucalyptus grandis* como indicador de calidad de la madera.

En primer lugar se buscó estudiar la relación entre la penetración pilodyn en estado seco y en estado verde. Luego se buscó la existencia de correlación entre la penetración pilodyn y la densidad. En caso de que haya una buena correlación entre estas 2 propiedades, se puede llegar a utilizar este instrumento para estimar la densidad.

4.6.1. Correlación entre la penetración del pilodyn en estado verde y en estado seco.

Este estudio se realizó en 3 etapas. En la primera se analiza la existencia de correlación entre estas dos variables para el total de probetas ($n = 72$). En la segunda etapa, se realizó el análisis de las 18 probetas (6 árboles * 3 alturas) ubicadas externamente junto a la corteza. Por último se hizo este mismo análisis en las probetas provenientes únicamente de las 6 trozas basales. En el cuadro N°17 se presentan los datos obtenidos para estos 3 estudios. En el gráfico N°24 se observa la correlación entre las dos variables estudiadas para las 18 trozas.

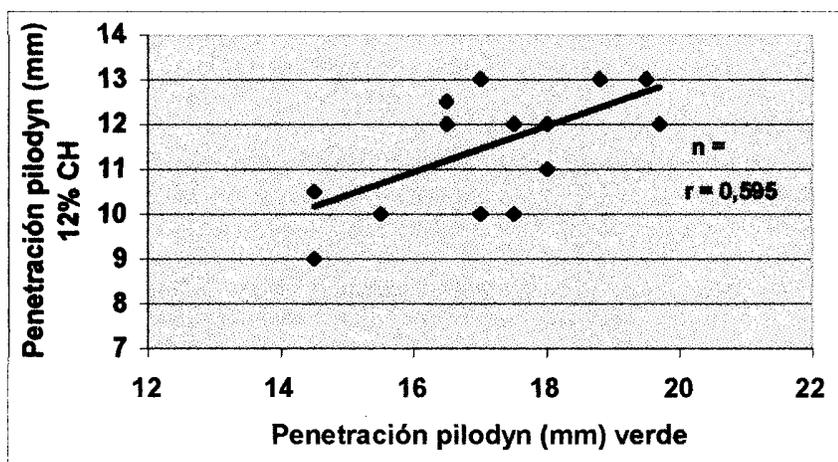


Gráfico N°24 : Correlación entre la penetración por pilodyn en estado verde y a 12% de contenido de humedad.

En el gráfico N°24 se observa que la correlación entre estas dos variables es alta y positiva. Esto nos estaría señalando que a mayor penetración en estado verde, también se observa mayor penetración en estado seco.

En el cuadro N°20 se muestran los valores de correlación para los tres niveles de análisis anteriormente señalados.

Cuadro N°20: Correlación entre la penetración pilodyn en estado verde y en estado seco según el número de probetas analizadas.

Número de probetas analizadas	Correlación
n = 72	r = 0,209
n = 15	r = 0,595
n = 5	r = 0,842

En el cuadro N°20 se observan los valores de correlación para los 3 niveles de análisis. A medida que disminuye el número de probetas analizadas, el valor de correlación aumenta. El mayor valor de correlación se obtiene al ensayar únicamente las probetas ubicadas sobre la corteza y provenientes de la troza basal.

Estos resultados nos estarían indicando que hay posibilidad de utilizar el pilodyn como indicador de calidad de la madera. La alta correlación obtenida con las trozas basales nos indica que podría llegar a utilizarse este instrumento en el campo a la altura del pecho en árboles en pie para obtener así información de la calidad de madera de la troza basal (más valiosa para la industria del aserrado). En el manejo de los montes, hay posibilidad de utilizar este instrumento temprano, para hacer selección antes del raleo.

La buena correlación obtenida para el conjunto de 18 trozas, nos estaría indicando que el pilodyn es de gran utilidad en la industria del aserrado también, donde se trabaja con trozas provenientes de diferente altura en el árbol. Lo mismo para el campo del mejoramiento genético.

En cuanto a los valores de penetración obtenidos, se observa que los mismos son en promedio 37 % mayores en condición verde que en condición seca.

4.6.2. Relación entre la Densidad ρ_{ab} y la penetración por pilodyn.

Este estudio se realizó siguiendo las mismas 3 etapas que en el caso de la correlación entre las probetas en estado verde y en estado seco. En el gráfico N°25 se observa la relación entre la Densidad ρ_{ab} (g/cm^3) de las probetas ubicadas más externamente en el radio y la penetración pilodyn (mm) en condición verde.

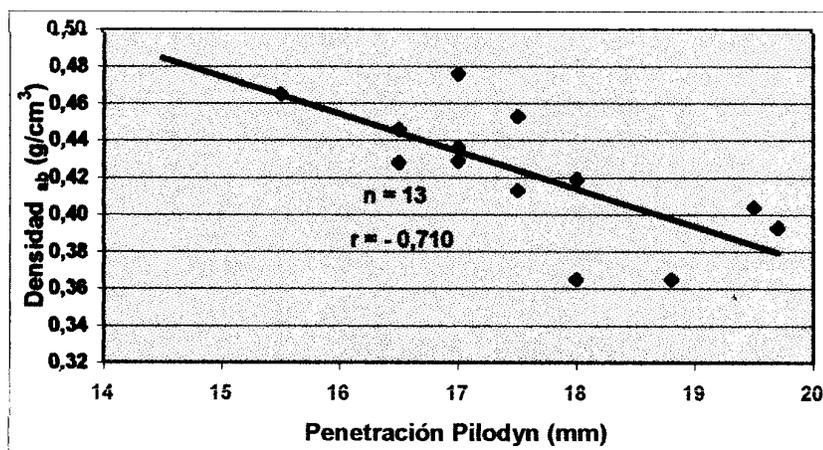


Gráfico N°25: Correlación entre la penetración por pilodyn (mm) en estado verde y la densidad (g/cm^3).

En el cuadro N°21 se observa la correlación existente entre estas dos variables estudiadas a diferente nivel de análisis. El estudio se hizo con las probetas en dos condiciones de humedad: verde y seca.

Cuadro N°21 : Correlación entre la densidad (g/cm^3) y la penetración en estado verde y en condición seca.

Número de probetas analizadas	CORRELACION	
	Verde	Seco
n = 67	r = -0,563	r = - 0,380
n = 13	r = - 0,710	r = - 0,599
n = 5	r = - 0,784	r = - 0,888

Según los valores obtenidos en el cuadro N°21, la correlación entre estas dos variables es alta y negativa para las dos condiciones de humedad de las probetas (verde y seca). La correlación en los dos casos aumenta en los distintos niveles de análisis: total de probetas, probetas próximas a la corteza provenientes de las alturas N°1, 2 y 3; probetas ubicadas sobre la corteza provenientes de la troza basal.

La correlación obtenida para el total de las probetas ensayadas en condición seca (n= 67; r = - 0.380), es menor a la encontrada por Pérez, A (2001).

Estos resultados nos están indicando que el Pilodyn puede ser útil en la especie *Eucalyptus grandis* para determinar otras propiedades, como la densidad.

4.6.3. Variación en el radio y en altura.

4.6.3.1. Variación en la altura.

Dado que en el monte lo más práctico es realizar el muestreo a la altura del pecho, se estudió la variación de la penetración pilodyn a lo largo del fuste, hasta los 11 metros de altura. En el cuadro N°22 se puede ver cómo varía la penetración del Pilodyn (mm) en los tres discos analizados a tres alturas diferentes.

Cuadro N°22: Variación longitudinal de la penetración pilodyn (mm) en condición verde y seco.

Altura (N°)	PENETRACIÓN PILODYN (mm)	
	Condición Verde	12% Contenido de Humedad
1	18,0	11,0
2	17,5	10,5
3	17,0	11,0

De acuerdo a los resultados presentados en el cuadro N°22, se puede afirmar que no hay diferencia significativa ($P < 0.01$) entre la penetración pilodyn a diferentes alturas en el árbol bajo las dos condiciones: verde y seco. Esto nos estaría indicando que hay posibilidad de utilizar el pilodyn en el árbol en pie a la altura del pecho y que el mismo sea representativo hasta los 11 metros de altura en el árbol. Estos datos coinciden con los presentados por Raymond,, 1998.

Se destaca la importancia de estudiar el patrón de variación longitudinal, para llegar a determinar en cada especie, cual es la altura óptima para utilizar el Pilodyn y que el valor obtenido sea representativo de la densidad de todo el árbol. En este trabajo a partir de los 6 árboles estudiados, se establece que para *E.grandis* utilizando el Pilodyn en el monte a la altura del pecho, hay posibilidad de obtener buenos resultados.

4.6.3.2. Variación en el radio.

Según los resultados obtenidos, el Pilodyn puede ser utilizado en *Eucalyptus grandis* como estimador de la calidad de madera, en lugar de otros indicadores como ser la densidad. A la hora de utilizar el instrumento parece importante conocer la variación de la penetración por pilodyn en el radio en las distintas alturas, tanto en condición verde como seca. Para ello se realizó este estudio en las 3 alturas hasta los 11 metros en el árbol. En el gráfico N°26 se pueden ver los resultados.

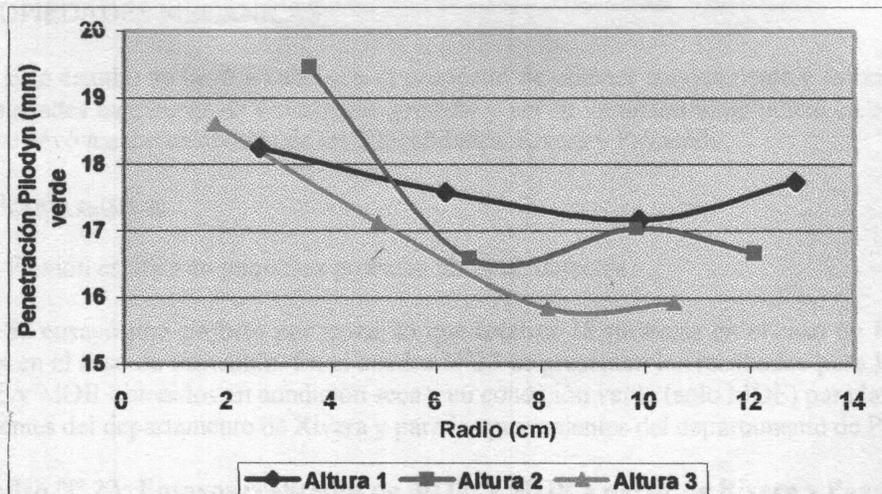


Gráfico N°26 : Penetración por pilodyn (mm) en probetas en estado verde.

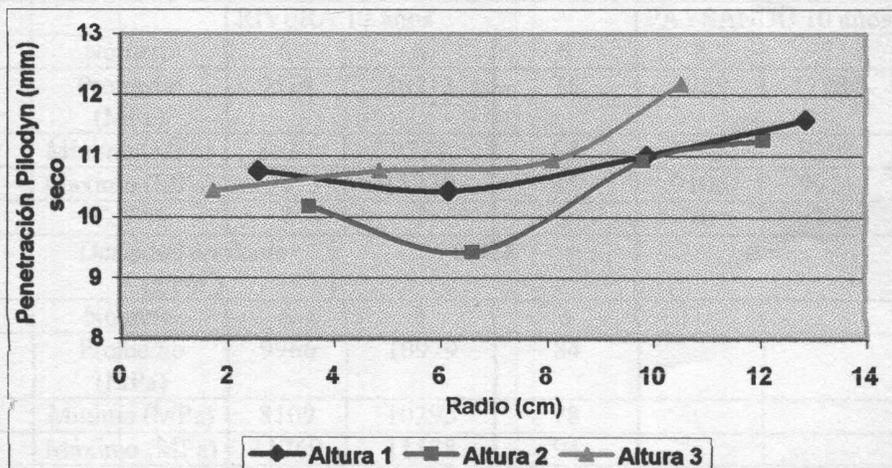


Gráfico N°27 : Penetración por pilodyn (mm) en probetas a 12% de contenido de humedad.

En los gráficos N°26 y N°27 se puede ver la variación de la penetración por pilodyn a lo largo del radio (cm). Se observa que en estado seco, la penetración pilodyn tiende a hacerse más constante. En cuanto a la tendencia observada, la misma varía con el contenido de humedad. En el caso de las probetas en estado verde, la penetración pilodyn disminuye desde la médula a la corteza. En estado seco, al contrario, la penetración pilodyn aumenta desde la médula a la corteza.

4.7. PROPIEDADES MECÁNICAS.

Este estudio se llevó a cabo con el propósito de obtener conocimiento e información de las propiedades mecánicas de *Eucalyptus grandis* y ver su variación longitudinal en el árbol. El mismo se llevó a cabo en árboles de las 2 localidades: Rivera y Paysandú.

4.7.1. Flexión estática.

4.7.1.1. Flexión estática en pequeñas probetas libres de defectos.

Se ensayó una probeta por troza, lo que totaliza 18 probetas en el caso de Rivera y 8 probetas en el caso de Paysandú. En el cuadro N°23 se presentan los resultados para los valores de MOE y MOR obtenidos en condición seca y en condición verde (sólo MOE) para las probetas provenientes del departamento de Rivera y para las provenientes del departamento de Paysandú.

Cuadro N° 23: Ensayos realizados de MOE y MOR a partir de Rivera y Paysandú.

ALTURA	PARÁMETRO	MOE VERDE	MOE 12% CH	MOR 12% CH	MOE VERDE	MOE 12% CH	MOR VERDE
		RIVERA 12 años			PAYSANDÚ 10 años		
1	Número	6	6	6	8	7	8
	Promedio (MPa)	9514	10213	75	7939	11184	59
	Mínimo (MPa)	8620	9338	67	5105	9305	41
	Máximo (MPa)	10455	11239	85	9100	9911	68
	C.V %	7	7	9	18	14	17
	Densidad corriente (g/cm ³)	0,428					
2	Número	6	3	3			
	Promedio (MPa)	9966	10979	84			
	Mínimo (MPa)	8109	10295	78			
	Máximo (MPa)	11769	11538	94			
	C.V %	12	6	10			
	Densidad corriente (g/cm ³)	0,439					
3	Número	6	5	5			
	Promedio (MPa)	10143	11289	84			
	Mínimo (MPa)	8547	9954	69			
	Máximo (MPa)	11812	11929	90			
	C.V %	11	7	10			
	Densidad corriente (g/cm ³)	0,444					

En el cuadro N°22 se observan diferencias entre los resultados de MOE y MOR en la altura N°1, donde tenemos datos de dos departamentos: Paysandú y Rivera. Al comparar los datos para una y otra localidad, se observa que en condición verde, el MOE (MPa) de las probetas de Rivera presenta valores 17% mayores que el de Paysandú. Por el contrario, en condición seca, las probetas del departamento de Paysandú mostraron valores 9% mayores que las de Rivera. En todos los casos las diferencias fueron significativas ($P < 0,01$).

Como era de esperar, en todos los casos se observó que el MOE es mayor en condición seca que en condición verde (entre 7-10% mayor en el caso de Rivera). Se destaca para las probetas provenientes de Paysandú, la gran diferencia entre la condición seca y la verde (29% mayor la condición seca). Estos datos coinciden con los presentados por Pérez, 2001.

A continuación se realizó el estudio entre el MOE y el MOR.

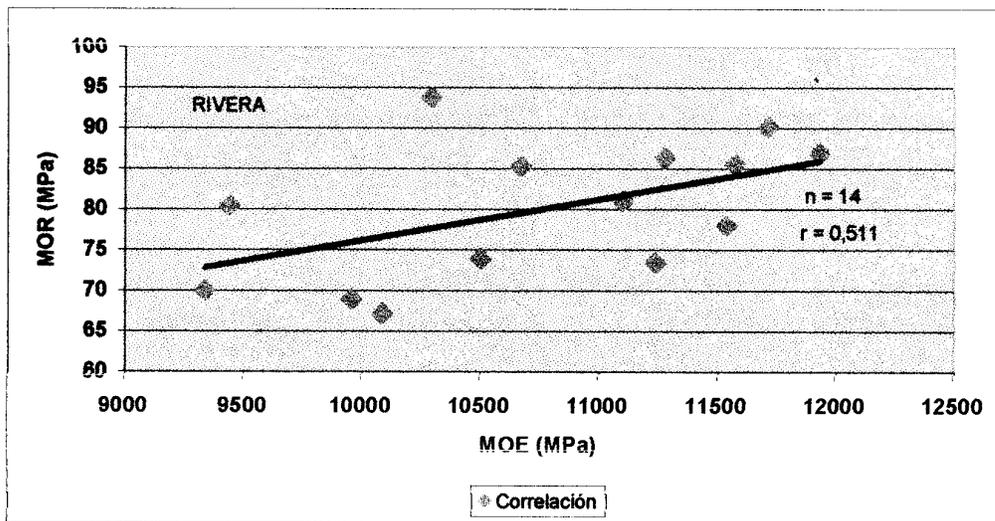


Gráfico N°28: Correlación entre el MOE y el MOR en condición seca.

En el gráfico N°28 se observa que la correlación entre el MOE y el MOR en condición seca para las 14 probetas estudiadas es de 0,511. Esta correlación es menor que la obtenida por Pérez, 2001.

En el gráfico N°29 se observa la relación entre el MOE en condición verde y en condición seca para los 6 árboles del departamento de Rivera.

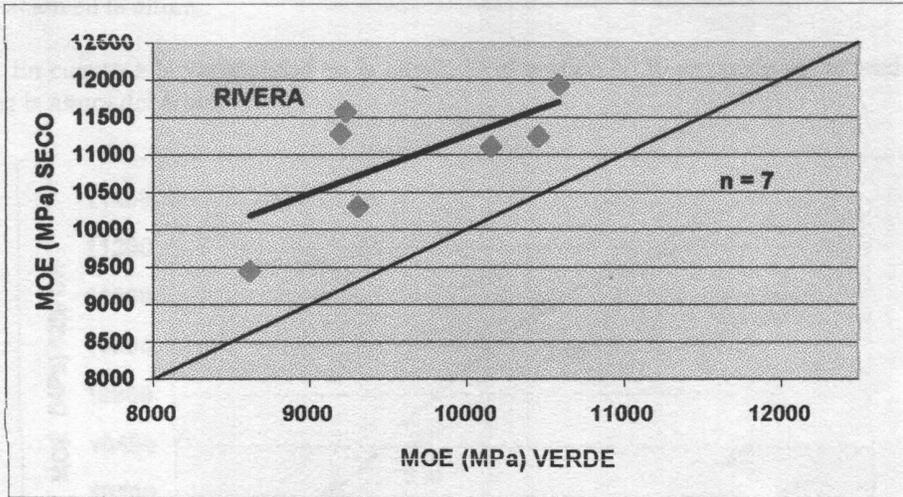


Gráfico N°29 : Relación entre el MOE verde y el MOE en condición seca.

En el gráfico N°29 se observa que el análisis se realizó con 7 probetas.

Gráfico N°30 : MOE (MPa) en condición seca en función de la altura en el árbol.

En el gráfico N°30 se observa la tendencia del MOE radial en función de la altura en el árbol y de la altura del árbol. De los árboles se midieron los árboles 9 y 12. El árbol 9 tiene una altura de 27 m y el árbol 12 tiene una altura de 34 m. La diferencia entre el valor de MOE a los 3 y a los 11 metros en el árbol 9 es de 100 MPa (D.D. 1).

B) Variabilidad entre árboles

En el gráfico N°31 se observa la variabilidad entre los 6 árboles del departamento de Rivera para los valores de MOE y MOE en condición seca, considerando los tres niveles de distancia.

A) Variación en la altura.

En cuanto a la variabilidad en la altura, en el gráfico N°30 se puede ver la tendencia del MOE en la altura del árbol.

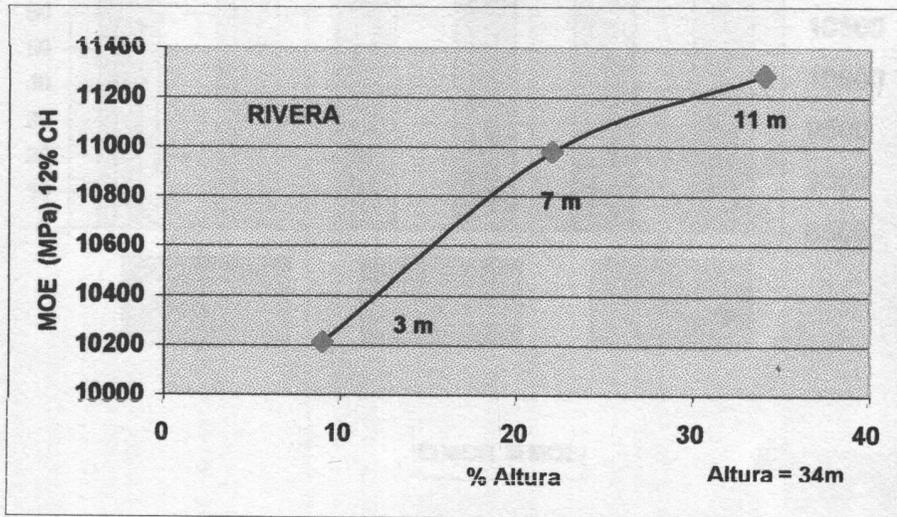


Gráfico N°30 : MOE (MPa) en condición seca en función de la altura en el árbol.

En el gráfico N°30 se observa la tendencia del MOE radial en estado seco, el cual tiende a aumentar con la altura. Dicho aumento no es constante. Entre 9 y 22% de la altura, hay un 7% de diferencia en el valor de MOE, mientras que entre el 22 y el 34% de la altura, la diferencia es de 3%. En total, la diferencia entre el valor de MOE a los 3 y a los 11 metros en el árbol es de 10% ($P < 0,05$).

B) Variabilidad entre árboles.

En el gráfico N°31 se observa la variabilidad entre los 6 árboles del departamento de Rivera para los valores de MOE y MOR en condición seca, agrupados en las tres clases de diámetro.

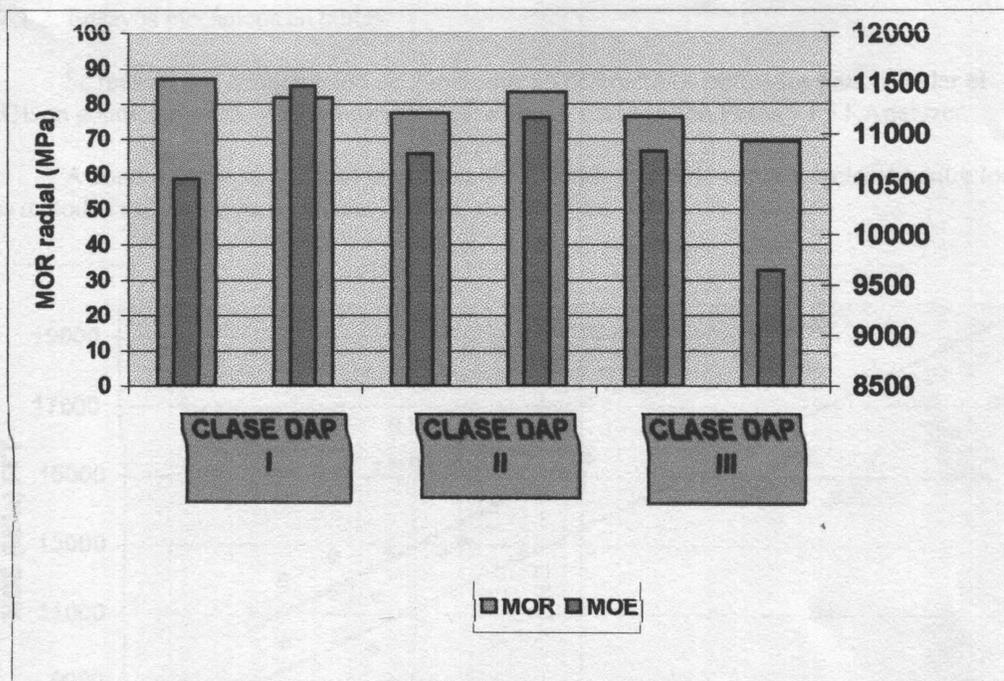


Gráfico N°31: Resultados de los ensayos de flexión estática en estado seco.

En el gráfico N°31 se observa que no hay grandes variaciones en los valores de MOE y MOR promedio obtenidos para los 6 árboles del departamento de Rivera. Se observa a su vez, poca variación entre las 3 clases de DAP. El coeficiente de variación para el MOE en estado seco fue 5,8%. En el gráfico también se observa que el árbol N°29 el cual mostró tener menores valores de densidad que el resto, también presentó menores valores de MOE y MOR.

4.7.1.2. Ensayos mecánicos en tablas.

Se realizó una comparación de 2 métodos no destructivos utilizados para calcular el MOE en condición verde y en condición seca: Flexión Estática con Pesas y FFT Analyzer.

A continuación se presenta el gráfico N°32 donde se puede ver la correlación entre los dos métodos utilizados para calcular el MOE de las tablas.

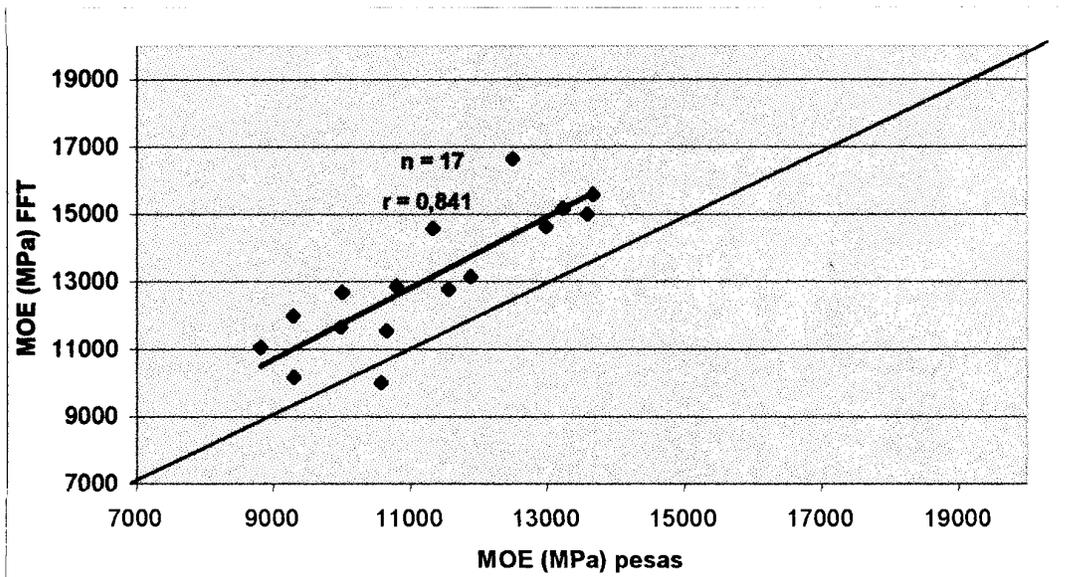


Gráfico N°32: Correlación de los 2 métodos utilizados para el cálculo del MOE en las tablas: FFT Analyzer longitudinal y método de Flexión Estática con Pesas.

En el gráfico N°32 se observa que el valor de MOE varía según el método utilizado. En promedio, con el FFT Analyzer se obtuvieron valores 14% mayores que por el método de Flexión Estática con Pesas.

- Correlación entre el MOE (MPa) y la Densidad (g/cm^3).

Este estudio se llevó a cabo en las dos condiciones de humedad: verde y 12% de contenido de humedad. En condición verde no se observó correlación entre el MOE y la Densidad. En el gráfico N°33 se puede ver la correlación entre el MOE y la densidad a 12% de contenido de humedad.

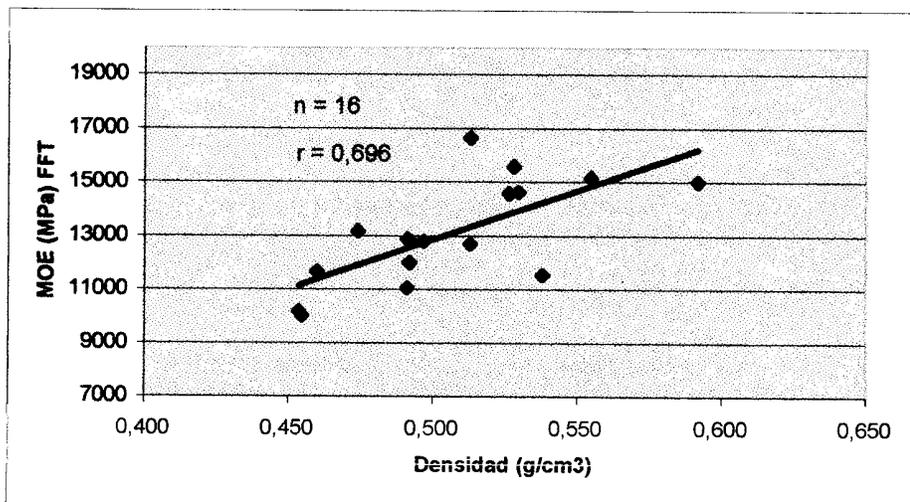


Gráfico N°33 : Correlación entre el MOE (MPa) seco y la densidad.

En el gráfico N°33 se obtuvo para las 16 probetas ensayadas una correlación de 0,696.

4.7.2. Flexión dinámica

Como se detalló en el capítulo 3, este estudio se llevó a cabo en pequeñas probetas, libres de defectos.

4.7.2.1. Variación en la altura.

En el cuadro N°24 se puede ver la variación en la energía absorbida por el impacto a distinta altura en el árbol en los 6 árboles analizados. Se observa a su vez los resultados obtenidos en el departamento de Paysandú en la troza basal.

Parámetro	RIVERA			PAYSANDÚ
	Altura 1	Altura 2	Altura 3	Altura 1
Número	6	5	5	4
Promedio (J / cm ²)	7,19	5,98	4,55	8,17
Mínimo	5,16	2,83	2,92	6,57
Máximo	9,00	8,82	6,15	9,67
C.V%	21	37	32	19

Cuadro N°24 : Datos de flexión dinámica para los departamentos de Rivera y Paysandú.

En el cuadro N°24 se puede ver que la energía absorbida disminuye con la altura en el árbol. Se destaca el alto valor de coeficiente de variación obtenido. Son varias las causas que

pueden estar actuando sobre la variabilidad en esta propiedad. Los valores mostraron ser 12% mayores en Paysandú que en Rivera.

4.7.2.2. Correlación entre la flexión dinámica (J/cm^2) y la densidad.

Para las 18 probetas ensayadas a partir de los seis árboles provenientes del departamento de Rivera, no se encontró correlación entre la densidad y la flexión dinámica.

4.7.2.3. Correlación entre la flexión dinámica en estado verde y en estado seco:

Este ensayo se llevó a cabo en una serie de 16 probetas, obtenidas de a pares del mismo lugar en el radio en las trozas del departamento de Rivera. La mitad se ensayó en condición verde y la otra mitad a 12% de contenido de humedad. En el gráfico N°34 se puede ver la correlación entre la flexión dinámica en el estado verde y en estado seco.

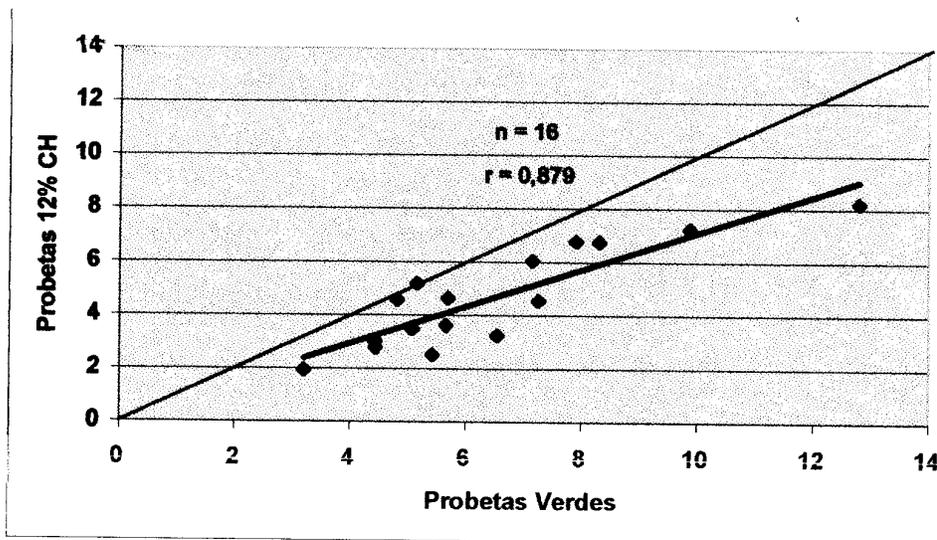


Gráfico N°34 : Correlación entre la Energía absorbida en condición verde (J/cm^2) y a 12% de contenido de humedad.

En el gráfico N°34 para $n = 16$, se observa una correlación muy alta de 0.88 entre ambas variables. Se observa que la energía absorbida es 23% mayor en condición verde que en condición seca. Este resultado nos confirma que el principio de que la madera aumenta su estabilidad frente a fuerzas estáticas, no se aplica a esfuerzos dinámicos. Se puede decir que la madera seca no es tan flexible como la madera verde (KOLLMAN, 1968).

Estos datos no concuerdan con los datos presentados por Mantero, 1999.

5. APLICACIÓN PRÁCTICA Y RECOMENDACIONES

Con el objetivo de obtener a partir de las plantaciones de *Eucalyptus grandis*, productos con calidad tanto para el mercado interno, como para la exportación, es fundamental partir de árboles con buena conformación; esto es que presenten rectitud de fuste, que no presenten excentricidad, que tengan un cilindro nudoso pequeño y que alcancen un diámetro mínimo según el uso final.

Antes de la industrialización de las trozas, la clasificación de las mismas, se convierte en una práctica fundamental. En el caso de trozas de menores diámetros, las mismas deberían destinarse para otros usos. En la producción de madera, así como en otras producciones, hay dos aspectos importantes: producir cantidad y calidad (para determinados usos finales).

5.1. VELOCIDAD DE CRECIMIENTO.

La velocidad de crecimiento determina la cantidad de madera producida. Es importante estudiar qué relación hay entre la velocidad de crecimiento y la calidad de la madera. A partir de estos 6 árboles del departamento de Rivera con diámetros entre 33 y 46cm, no se encontraron diferencias en las propiedades de la madera estudiadas entre las 3 clases de diámetro.

Para obtener madera de calidad superior, es indispensable partir de buen material genético, que proporcione fustes con buena forma, rectos, con buen desrame natural en lo posible. Mediante la poda artificial, hay posibilidad de mejorar la calidad de la segunda y tercer troza. El mismo resultado se puede obtener realizando turnos más largos.

5.2. INDICADORES DE CALIDAD.

Al hablar de calidad de madera, es necesario definir cuales son los indicadores de calidad. Se considera a la densidad como uno de las propiedades más importantes. De todas las propiedades, la densidad es la más importante para definir el uso final (Bamber y Burley 1983). Mientras que los productores de madera se han concentrado en la productividad de sus bosques, los productores de celulosa, se han concentrado en la densidad, ya que ésta determina en gran medida la cantidad de pulpa producida (Downes *et al.* 1997). En el campo del mejoramiento genético se está trabajando con esta propiedad. En este trabajo se pudo ver que hay variación individual en el valor de densidad promedio. Es por lo tanto fundamental desarrollar métodos no destructivos que permitan predecir la densidad de la madera.

La Infradensidad, uno de los métodos utilizados en este trabajo, se presenta como un método rápido, sencillo y de bajos costos para determinar la densidad ^{ah}.

Dentro de las propiedades de la fibra, las más importantes para la producción de pulpa y papel, son: el largo y diámetro de la fibra y el ancho de la pared. El largo de fibra, ha sido siempre considerado un importante indicador de la calidad de pulpa en coníferas (Downes *et al.* 1997). Los factores que influyen sobre esta propiedad son la edad del cambium y la ubicación en el radio). A partir de la longitud de fibras y de la densidad se pudo obtener información del límite aproximado entre la madera juvenil y la madera adulta.

La variación en la sección transversal de la fibra también afecta las propiedades de la pulpa y el papel (Amidon, 1981; McKenzie, 1994, citado por Downes *et al.* 1997). En este trabajo se incluyó este estudio.

Para ciertos usos finales, como para su uso en exteriores, se considera el porcentaje de duramen otro importante indicador de calidad. Las diferencias en extractivos químicos entre la albura y el duramen, hace a esta última, más resistente al ataque de insectos y pudriciones. En este trabajo, se pudo constatar la importancia al determinar el valor de duramen, del método utilizado. En este trabajo se llegaron a encontrar diferencias de hasta 18,5% en el valor de duramen según el método utilizado.

5.3. OTRAS PROPIEDADES DE LA MADERA.

El contenido de humedad es una propiedad muy importante sobre todo en lo relacionado al secado de la misma., Determina en gran medida los costos y la calidad del producto final. Se pudo constatar que en el radio, a todas las alturas del árbol, se observa una gran variación en esta propiedad. En algunos casos, el contenido de humedad permanece constante, en otros disminuye a lo largo del radio mientras que en otros casos, aumenta a lo largo del mismo. Esto nos podría ayudar a entender las dificultades para secar esta especie. En la industria hay posibilidad de trabajar con madera proveniente de distintas plantaciones, árboles y zonas diferentes en la altura y radio del árbol, lo cual significa que al ingresar las tablas al secadero en la industria, ya presentan una importante variación en el contenido de humedad.

En lo que se refiere a la penetración por Pilodyn, se encontraron correlaciones interesantes entre los valores obtenidos con las probetas en estado verde y en estado seco, sobre todo en las probetas ubicadas más externamente, en la zona de la corteza. Esta relación es muy importante, ya que para saber las características de la madera en estado seco, no hay que esperar que la misma esté seca. Esto significa un ahorro importante de tiempo y dinero.

Por otro lado, la alta correlación obtenida entre la penetración por Pilodyn y la densidad, nos estaría indicando que hay posibilidad de que el Pilodyn tenga utilidad en *Eucalyptus grandis* como indicador de la calidad de la madera, en este caso de la densidad. El hecho de que no se haya encontrado variación longitudinal en la penetración por Pilodyn es muy importante, ya que el mismo puede de esta manera, utilizarse en el monte a la altura del pecho y el valor obtenido se puede tomar como representativo del tipo de madera que hay en la zona cercana a la corteza hasta los 11 metros de altura en el árbol.

En cuanto a las propiedades mecánicas, nuevamente como en el caso del estudio por medio del Pilodyn, se destaca la importancia de realizar los estudios comparativos entre los valores en condición verde y en condición seca. Como era de esperar, el estudio de flexión dinámica, demostró que la madera es más estable en condición verde que en condición seca.

5.4. RECOMENDACIONES.

Se recomienda realizar más estudios de este tipo, con mayor número de árboles y en distintos sitios para así lograr un conocimiento más profundo de las propiedades físicas y mecánicas de la especie *Eucalyptus grandis* en el país.

A nivel de laboratorio parece conveniente seguir desarrollando metodologías que colaboren a realizar una selección temprana de los árboles en el campo.

6. CONCLUSIONES.

Se puede concluir que los árboles de las 3 clases de diámetro no presentaron diferencias en la altura total. Si se observaron diferencias individuales tanto en altura total, como en la altura de la primer rama viva y en el comienzo de la copa.

Con respecto a la velocidad de crecimiento de los árboles en diámetro, se observó que hasta 46 cm de diámetro no hay gran influencia sobre las siguientes propiedades: densidad, humedad, porcentaje de duramen y en las propiedades mecánicas estudiadas.

Se encontraron en cambio, diferencias individuales en la densidad ab , % de duramen, largo de fibra y propiedades mecánicas. Esto deja abierta la posibilidad de aprovechar esta variabilidad existente en programas de mejoramiento genético.

El contenido de humedad de la madera presentó gran variación a lo largo del radio. A partir de este estudio se llegaron a identificar 4 patrones de variación en el contenido de humedad en el radio. Se encontró que el contenido de humedad de la albura es mayor que el del duramen. En cuanto a la variación longitudinal, la misma disminuyó un 35% entre los 3 y los 11 m en el árbol, para luego mantenerse constante hacia la copa del árbol.

El porcentaje de duramen está presente en los 6 árboles estudiados hasta un 70% de la altura total. En cuanto a la variación en la altura, no se encontraron diferencias hasta los 11 m. A partir de esa altura, el porcentaje de duramen disminuye 68%, entre los 11 y los 29 m de altura en el árbol.

Se observaron diferencias en la tendencia de la densidad ab a lo largo del radio. Hay posibilidad que a 29 metros de altura en el árbol toda la madera sea juvenil. En lo que se refiere a la variación de esta propiedad en la altura, se constató como era de esperar, que la densidad ab aumenta con la altura.

Se encontró que la Infradensidad presenta muy buena correlación con la densidad ab . Esto nos estaría indicando que hay posibilidad de utilizar la Infradensidad como método para calcular la densidad ab .

En cuanto al largo y ancho de fibra, se observó que las fibras tienden a hacerse más largas y presentan pared más gruesa en la zona de la corteza que en la zona de la médula. En cuanto a la variación longitudinal, como era de esperar, las fibras más largas se encontraron a 20% de la altura total (aproximadamente a 7 m en el árbol) para luego disminuir hacia el ápice. En cuanto al ancho de fibra, el mismo también disminuye hacia la copa.

A través del estudio de la variación radial en el largo de fibra y en la densidad ab , se llegó a identificar la posibilidad de existencia de 3 zonas de madera diferente: madera juvenil (desde la médula hasta los 11 cm en el radio), madera de transición (entre los 11 y los 14 cm) y madera adulta (a partir de los 14 cm).

Por otro lado se encontraron diferencias significativas ($P < 0,01$) entre el largo y el ancho de fibra de los árboles de Rivera (12 años) y los de Paysandú (10 años). Para llegar a determinar diferencias de sitio sería conveniente ensayar mayor número de árboles y de la misma edad.

En cuanto al uso del pilodyn, dado los altos valores de correlación encontrados en este trabajo, se deja abierta la posibilidad de que el mismo pueda ser utilizado en *Eucalyptus grandis* para llegar a determinar otras propiedades como la densidad, importante indicador de calidad de la madera.

En lo que se refiere a las propiedades mecánicas, en el ensayo utilizando pequeñas probetas libres de defectos, se encontró que el MOE (igual que la densidad) aumenta con la altura en el árbol. El árbol N°29 que presentó el menor valor de densidad, también mostró valores bajos de MOE.

No se encontró una relación clara entre las 2 localidades ensayadas. Al igual que en el caso del largo de fibra, para obtener diferencias más claras entre los 2 sitios es conveniente ensayar mayor número de árboles.

En el ensayo realizado en pequeñas tablas, para las 16 tablas ensayadas, se obtuvo una correlación de 0,696 entre el MOE y la densidad.

En cuanto a los resultados obtenidos mediante los dos métodos utilizados para ensayar las pequeñas tablas flexión estática con pesas y FFT, para las 17 probetas ensayadas la correlación entre estos 2 métodos fue alta y positiva: $r = 0,841$. Los valores mediante el método de FFT fueron 14% superiores que el método de flexión estática con pesas.

En cuanto a las propiedades mecánicas se corroboró en este trabajo con *Eucalyptus grandis* que cuando se trata de esfuerzos estáticos, la estabilidad de la madera es mayor en condición seca que en condición verde. Cuando se trata de esfuerzos dinámicos, se demostró en estos 6 árboles provenientes de Rivera, que la estabilidad de la madera es mayor en estado verde. La flexión dinámica en estado verde fue 23% que en estado seco.

En cuanto a la variabilidad de ésta última propiedad en la altura del árbol, se encontró que la energía absorbida (J/cm^2) disminuye con la altura en el árbol.

7. RESUMEN.

Se estudió la variación de las propiedades físicas y mecánicas (módulo de elasticidad y de ruptura) de 6 árboles de *Eucalyptus grandis* de 16 años, provenientes del departamento de Rivera y cómo la misma influye en la calidad de la madera y de la pulpa así como en el manejo silvicultural de los montes. En el caso de la humedad, densidad, largo y ancho de fibra y penetración Pilodyn se hizo el estudio de la variación radial y longitudinal. Para el caso del porcentaje de duramen, módulo de elasticidad y de rotura se hizo el estudio únicamente en la altura. En el caso del estudio del largo y ancho de fibra y propiedades mecánicas se incluyeron 2 trozas basales del departamento de Paysandú de una plantación de 10 años de edad.

Se realizó una clasificación visual de las trozas. Las trozas basales fueron en su mayoría clasificadas como trozas categoría I. Se cree que con prácticas como la poda o mediante turnos más largos, se podría aumentar la calidad de la segunda y tercer trozas.

Se encontraron distintos patrones de variación de la humedad a lo largo del radio en las 3 alturas analizadas (11 m altura), lo cual podría contribuir a entender la dificultad para lograr homogeneidad en el contenido de humedad de las tablas luego del proceso de secado.

A partir del estudio de la variación en el largo de fibra y en la densidad_{ab} en el radio, se pudo llegar a determinar el límite aproximado entre la madera juvenil y la madera adulta. Este límite estaría entre los 11 y los 14cm desde la médula.

Dados los altos valores de correlación encontrados, hay posibilidad de que el pilodyn sea utilizado como indicador de calidad en *E. grandis*.

No se encontraron diferencias entre los árboles pertenecientes a las 3 clases de diámetro en la densidad_{ab}, largo de fibra, porcentaje de duramen y propiedades mecánicas. Si se observaron diferencias individuales en estas propiedades.

SUMMARY

The variation in physical and mechanical properties in 16 year old *E. grandis* trees and how these properties affect wood and pulp quality was studied. In the case of moisture content, density, fiber length and width, Pilodyn penetration test the radial and longitudinal variation was analyzed. In case of % of heartwood, and mechanical properties, only the longitudinal variation was studied. In case of the fiber length and width study and mechanical properties, 2 N°1 *E. grandis* logs from Paysandú coming from a 10 year old plantation were included.

Visual classification of logs was done. N°1 logs were mostly classified as category N°1 (best category). It is believed that with silvicultural practices such as pruning, or doing longer rotations, N°2 and N°3 logs (from higher positions in the tree) can be classified in a better category.

Different radial patterns of moisture content were found at the three heights studied. This could help to understand the difficulties to air-dry this species.

From studies done in fiber length and basic density variation from pith to bark, the limit between juvenile and mature wood was determined. This limit was found between 11 and 14 cm from the pith.

Due to the high correlation values found, it is possible to use the pilodyn in *E. grandis* as a wood quality indicator.

No differences between for the 3 diameter classes were found in the different properties studied. Yet some variation between trees was observed. This variation could be used in breeding programs.

8. BIBLIOGRAFÍA.

1. BACKMAN, M; GARCÍA DE LEÓN, J.P. 1988. Pulp and paper properties of four year old eucalyptus trees. *Appita* 98: 7-14.
2. BAMBER, R.K.; BURLEY J. (1983) The Wood Properties of Radiata Pine. *Commonwealth Agricultural Bureaux*.
3. BIANCHI COPPOLA B.; DIBARBOURE PARODI H., 1993, Selección de *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) por peso específico aparente básico y evaluación de tensiones de crecimiento. Tesis Ingeniero Agrónomo, Montevideo, Facultad de Agronomía. 114p.
4. BHAT, K.M; BHAT, K.V; DHAMODARAN, T.K.1990. Wood density and fiber length of *Eucalyptus grandis* grown Kerala, India. *Wood and Fiber Science*. 22 (1):54-61.
5. CARRIQUIRI, J, 1993. Aptitud papelera de 3 sp. De *Eucalyptus*: *viminialis*, *globulus* y *maidenii*. Tesis Ingeniero Agrónomo, Montevideo, Facultad de Agronomía. 106p.
6. CENTURIÓN, C; LLANO, L., 1993. Peso específico básico del *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden). Tesis Ingeniero Agrónomo, Montevideo, Facultad de Agronomía. 78p.
7. DIGHIERO, A; FALCONE, A. 1993 Caracterización anatómica de dos especies de *Eucalyptus* (*E.globulus* Labill ssp. *Maidenii* (F.Muell) Kirkpatrick y *E.viminalis* Labill). Tesis Ingeniero Agrónomo, Montevideo, Facultad de Agronomía. 173p.
8. CORONEL, E. Fundamentos de las propiedades mecánicas de las maderas. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero. 335p.
9. DOWNES, G.M; HUDSON, I.L.; RAYMOND, C.A.; DEAN, G.H.; MICHELL, A.J.; SCHIMLECK, L.R.; EVANS, R.; MUNERI, A. 1997: Sampling plantation Eucalypts for fiber and wood properties. CSIRO publishing. 132p.
10. KOLLMAN, F; COTÉ, W. 1968, Principles of wood science and Technology. Solid Wood I. Springer-Verlog Berlin Heidelberg New York, 592p.
11. MALAN, F.S. 1991. Variation, association and inheritance of juvenile wood properties of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden with special refernce to the effect of rate of growth. *South African Forestry Journal*. No. 157, pp. 16-23, 22 ref. 2001.
12. MANTERO, C. 1999. Propiedades físicas y mecánicas de los Eucaliptos: *E.grandis*; *E.globulus*; *E.tereticornis*. *Uruguay Forestal*. 9(21): 13-16.
13. PÉREZ DEL CASTILLO, A.2001: Propiedades Mecánicas y Calidad de la Madera de *Eucalyptus grandis* de Rivera, Uruguay. Informe de Investigación N°4. LATU-JICA. Montevideo, Uruguay.

14. PURNELL, R.C. 1988. Variation in Wood properties of *Eucalyptus nitens* in a Provenance Trial on the Eastern Transvaal Highveld in South Africa. *South African Forestry Journal*. N°144: 10-22.
15. RAYMOND, C.A. 1998. Where to shoot your pilodyn: within tree variation in basic density in plantation *Eucalyptus globulus* and *E.nitens* in Tasmania. *New Forests*, Vol.15, No.3, pp.205-221, 26 ref. 2001.
16. RODRIGUES, J.C.; GOMINHO, J.; FIGUEIRA, J. 2001. Within-tree variation of Heartwood, extractives and wood density in the Eucalypt hybrid *Urograndis* (*Eucalyptus grandis* X *E.urophylla*). *Wood and Fiber Science*. V. 33(1): 3-8.
17. SMITH, D. 1954. Maximum moisture content meted for determining specific gravity of small wood samples. *In Forest Service . U.S Forestru Department Madison. U.S.A.*
18. SORIA MOZZONE L.A., 1979, Aptitud del *Eucalyptus grandis* como materia prima para la obtención de pastas celulósicas. Tesis Ingeniero Agrónomo, Montevideo, Facultad de Agronomía. 69p.
19. TUSET R.; DURAN F., 1979, Manual de Maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Montevideo, Hemisferio Sur, 688p.
20. WILKINS, A.P. 1989. Implications of silviculturally induced variation of wood density and heartwood formation in *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden. *IAWA Bulletin*, Vol.10, No. 3, p.349. 2001.
21. WILKINS, A.P. 1991. Sapwood, Heartwood and bark thikness of silviculturally treated *Eucalyptus grandis*. *Wood Science and Technology*, 1991, Vol.25, No.6, pp415-423, 19 ref. 2001.
22. Wood Handbook.; 1999. Forest Products Society, 400p.
23. WRIGHT, J.A; ENDO, M.; 1993. Wood density of four year old clones of *Eucalyptus grandis* from sixteen trials in Colombia. *Wood and fiber Science*. Vol.25, No.4, pp.333-338, 13 ref. 2001.